ARBEITEN ÜBER KALIDÜNGUNG

LANDWIRTSCHAFTLICHE VERSUCHSSTATION
BERLIN-LICHTERFELDE
DES DEUTSCHEN KALISYNDIKATS

ARBEITEN ÜBER KALIDÜNGUNG

ZWEITE REIHE

MIT ENGLISCHER ÜBERSETZUNG DER ZUSAMMENFASSUNGEN

VON

PROFESSOR DR. DR. h. c. O. ECKSTEIN



1935

VERLAGSGESELLSCHAFT FÜR ACKERBAU M. B. H.
BERLIN SW 11

INHALT

Englische Zusammenfassungen

SUMMARIES



Abb. 1. Besichtigung der Versuchsstation Berlin-Lichterfelde durch die Teilnehmer an der Tagung der Vereinigung für angewandte Botanik 19. Mai 1932. — Visit of the Members of the Congress for applied Botany at the Experiment Station Berlin-Lichterfelde.

Vorwort
zur zweiten Folge der „Arbeiten über Kalidüngung".

Heute hat sich in fast allen Ländern die Einsicht durchgesetzt, daß ein lohnender Landbau nur durch intensivste Ausnutzung aller Hilfsmittel möglich ist, welche die Wissenschaft dem praktischen Landwirt zur Verfügung stellen kann. In Ländern mit verhältnismäßig beschränkter Anbaufläche äußert sich diese Erkenntnis dadurch, daß jeder Hektar verfügbaren Bodens durch Verwendung bestdurchgezüchteten Saatgutes, durch gründliche Bodenbearbeitung, durch richtige Pflege des Wasserhaushaltes und durch angemessene und richtige Versorgung mit reichlichen Mengen von Pflanzennahrung in der Form von Stallmist und Handelsdünger auf die höchste Ertragsfähigkeit gebracht wird. In Ländern, welche, wie manche Überseegebiete, über allzu große Anbauflächen verfügen, sorgt die landwirtschaftliche Wissenschaft dafür, daß ungeeignete Ländereien aus dem Landbau durch Aufforstung und andere Maßnahmen ausgeschaltet werden können und auf die geeignetere verminderte landwirtschaftliche Fläche ein größeres Maß von sachverständiger Sorgfalt in der Bearbeitung verwendet wird, statt wie früher zu große Flächen extensiv zu kultivieren. Auch in solchen Ländern hat die wissenschaftliche Erkenntnis ebenso wie in den Mangelländern zu einer richtigeren und intensiveren Verwendung von Handelsdünger auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen geführt, als sie früher Gepflogenheit war.

Die Züchtung besseren Saatgutes, dessen Verwendung für die quantitative und qualitative Hebung der Erträge in den letzten Jahrzehnten von großer Bedeutung gewesen ist, hat ihrerseits Sorten geschaffen, welche größere Mengen von Nährstoffen verwerten können und benötigen als diejenigen, welche für eine Zeit genügten, in der Stallmist und die geringfügigen natürlichen Nährstoffvorräte des Bodens einzige Nährstoffträger der Pflanzenernährung waren.

In einigen überseeischen Ländern, in welchen ursprünglich aus historischen Gründen jahrzehntelang der Begriff Handelsdüngung mit einseitiger Phosphatdüngung verwechselt wurde, hat die Verbreitung wissenschaftlicher Beobachtungen dazu beigetragen, daß jetzt sämtliche Pflanzenhauptnährstoffe und insbesondere verstärkte Kalimengen in den verwendeten Handelsdüngergemischen zur Anwendung kommen.

Während in früheren Zeiten die Problemstellung für Kalidüngungsfragen eine einfache war — sie beschäftigte sich fast ausschließlich mit der Frage der Beeinflussung der geernteten Menge durch die Verwendung verschiedener Quantitäten von Kali, verglichen mit „Ungedüngt" und „Düngung ohne Kali" — so bildet heute die Ernteseigerung durch Kali nur ein kleines Teilproblem der Arbeiten über Kalidüngung. Es sind aber andererseits nicht nur Fragen über den Einfluß der Kalidüngung auf die Qualität der Ernteprodukte, auf Stärkegehalt von Getreide und Kartoffeln, auf Hektolitergewicht von Getreidearten, auf die Eigenschaften von Pflanzenfasern, auf Sicherung der Ernten durch Erhöhung der Halmstandfestigkeit, welche der Untersuchung wert sind, sondern es müssen auch alle die verwickelten Wechselwirkungen zwischen Bodenstruktur, Bodenfruchtbarkeit und den Anionen und Kationen der verschiedenen Kalidüngersorten in den Bereich eingehender Untersuchung gezogen werden.

Der erste Rechenschaftsbericht über die Tätigkeit der Landwirtschaftlichen Versuchsstation Berlin-Lichterfelde, den wir vor drei Jahren veröffentlichten, enthielt ziemlich umfangreiches Material über Laboratoriumsuntersuchungen von Böden unter besonderer Berücksichtigung tropischer Bodenarten. Die Einwirkung des Kalis auf aride Böden der Tropen und Subtropen, welche vielleicht die wichtigste Gebietsreserve für die Welternährung der Zukunft darstellen und in denen durch unsachgemäße Behandlung mit Handelsdünger oft negative Resultate zu verzeichnen waren, bilden ein Arbeitsfeld, dessen Größe sich erst herausstellte, nachdem es ernsthaft in Angriff genommen war. Die gründliche Durcharbeitung dieses Gebietes wurde auch in der gegenwärtigen Berichtsperiode mit unverminderter Intensität fortgesetzt. Wir können auf Grund unserer Arbeiten, die sich auf Tausende von Analysen von Bodenproben aus aller Welt stützen, die Lichterfelder Methode der Bodenuntersuchung den nachprüfenden Fachkreisen vor-

legen. Gleichzeitig haben aber unsere Arbeiten, die sich selbstverständlich auch mit dem Vergleich der Lichterfelder Methode mit allen anderen üblichen oder in der Literatur beschriebenen Methoden der Bodenuntersuchung befassen mußten und die die überragende Bedeutung des Wasserhaushaltes der Böden für die Bodenbeurteilung klarstellten, zwangsweise zu dem Schluß geführt, daß eine für verschiedene Bodenarten brauchbare Schnellmethode zur Bestimmung der Fruchtbarkeit und des Düngebedürfnisses noch immer aussteht und der Natur der gestellten Aufgabe entsprechend wohl nie verwirklicht werden kann, und daß auch die besten Bodenuntersuchungsmethoden nur in den Händen eines sehr sachverständigen Beurteilers Unterlagen für die Bewertung eines Bodens bringen können.

Diese Schlußfolgerung drängt sich dem Agrikulturchemiker besonders stark auf, wenn er außer den in Deutschland gewöhnlich vorkommenden Bodentypen auch die andersgearteten Böden anderer klimatischer Zonen hinzuzieht. Durch die weltumfassende Organisation des Kalisyndikats waren wir imstande, außer den typischen europäischen Böden Bodenproben aus allen landwirtschaftlich wichtigen Überseegebieten in den Bereich der Untersuchung einzubeziehen, und wir glauben, obwohl diese Untersuchungen noch nicht als abgeschlossen gelten können, jetzt schon einige brauchbare Grundlagen für die düngertechnische Beurteilung und Behandlung europäischer und außereuropäischer Böden zu besitzen.

Landwirtschaftliche Problemstellungen und insbesondere Behandlung der Düngerfragen sind, wie schon angedeutet, notgedrungenerweise stark von lokalen landwirtschaftlichen Verhältnissen abhängig. Von besonderem Interesse ist es z. B., in dieser Hinsicht etwa die Verhältnisse in den Vereinigten Staaten von Amerika mit denen in Deutschland zu vergleichen. Während dem deutschen Landwirt die Aufgabe gestellt ist, möglichst große Ernten unter Berücksichtigung angemessener Qualität, und ganz besonders möglichst große Ernten von eiweiß- und fettreichen Pflanzen und von Faserstoffen zu erzielen, ist in den Vereinigten Staaten, wo z. B. die Übererzeugung an Baumwolle sich in den letzten Jahren zu einer wirtschaftlichen Kalamität auswuchs, die Problemstellung eine völlig andere. Es handelt sich in den meisten Überseeländern darum, die Qualität der erzielten Ernten, soweit diese Qualität

die Marktfähigkeit beeinflußt, nach Möglichkeit zu erhöhen und den Anbau auf den bestgeeigneten Bodenstrichen unter bestmöglicher Behandlung der Ernten zu konzentrieren. Aus solchen wirtschaftlichen Erwägungen heraus hat unsere Versuchsstation sich entschlossen, auch Probleme, wie z. B. die Erforschung des Einflusses der Kalidüngung auf Geschmack und Haltbarkeit von Obst und Gemüse, ferner auf Länge und Festigkeit der Sisalfaser und der Baumwolle, in ihr Arbeitsprogramm einzubeziehen.

Alle Aufgaben der Landwirtschaft, die Probleme des Mangellandes und diejenigen des überreichen Landes, dessen Wohlstand durch landwirtschaftliche Absatzkrisen gefährdet wird, setzen zu ihrer vernünftigen Lösung eine Kenntnis der Erntefaktoren — Boden und Einfluß der Düngung auf Erntemenge und Erntequalität — voraus, für die nur durch sehr umfangreiche wissenschaftliche Untersuchungen Grundlagen geschaffen werden können.

Im Problem der Kaliwirkung auf den pflanzlichen Organismus, das immer noch viele Rätsel birgt, ist eine restlose Aufklärung nur dann zu erwarten, wenn es gelingt, den physiologischen Einfluß des Kalis auf den Lebensvorgang in der Zelle, auf Assimilation und Wachstum, auf die Bildung von strukturellen Baustoffen und auf die chemische Zusammensetzung der Pflanze aufzuklären. Zu einer solchen Aufklärung ist es auch vonnöten, die Rolle anderer Elementarstoffe in die Untersuchung mit einzubeziehen, welche vom Boden und aus den Düngemitteln an die Pflanze gelangen könnten. Hier war ein Forschungsgebiet gegeben, das eine landwirtschaftliche Sonderversuchsstation für Kalifragen nicht vernachlässigen durfte und bei dessen Bearbeitung interessante Aufschlüsse, wie z. B. solche über Symptome des auf gewissen Bodenarten auftretenden Magnesiamangels und dessen Bekämpfung durch lösliche Magnesiasalze, erlangt wurden.

Da die große Mehrzahl unserer landwirtschaftlichen Pflanzen letzten Endes Nahrungsmittel für Mensch und Tier darstellen, haben wir seit Bestehen der Versuchsstation besonders auch auf die Untersuchung der Einwirkung von Nahrungs- und Futtermitteln verschiedenen Kaligehalts auf Mensch und Tier Wert gelegt. Wir glaubten auch, trotz ihrer offensichtlichen Haltlosigkeit, jene Behauptungen einer wissenschaftlichen Nachprüfung unterziehen zu müssen, welche von einer

Gesundheitsschädigung des Organismus durch die Verwendung von Handelsdünger sprechen. Auch die grundlegenden Arbeiten über diese Frage, zu deren Lösung die landwirtschaftliche Versuchsstation Lichterfelde ihre Mitarbeit zur Verfügung stellte, sind in diesem zweiten Rechenschaftsbericht der Versuchsstation mit angeführt.

Obwohl die Erreichung wirtschaftlich auswertbarer Resultate nach wie vor das vornehmste Ziel der Sonderversuchsstation für Kalifragen bleiben muß, so hoffen wir doch, daß auch in der jetzt abgelaufenen Periode manche Phasen unserer Mitarbeit bei der Durchforschung der Probleme der Kalidüngung als Beitrag zur Förderung der wissenschaftlichen Erkenntnis bewertet werden dürfen.

Die meisten der im vorliegenden Bande zusammengestellten Arbeiten sind bereits in Teilabhandlungen in der landwirtschaftlichen Presse und zum Teil als Vorträge auf internationalen Kongressen behandelt worden. Wir hoffen, daß die Zusammenstellung dieser Arbeiten in handlicher Form von vielen begrüßt werden wird, welche sich mit Kalidüngungsfragen beschäftigen.

Neuanlagen der Versuchsstation.

Die sich ständig steigernden Anforderungen an die Tätigkeit der Versuchsstation führten dazu, daß sich verschiedene Erweiterungen der Anlagen notwendig machten, von denen die Ausdehnung der Freilandversuche flächenmäßig die größten Ansprüche stellte.

Durch Ankauf des westlich von der Versuchsstation gelegenen Geländes von etwa 5 ha Größe wurde die für die Feldversuche zur Verfügung stehende Fläche annähernd verdoppelt (Abb. 2). Durch diese Vergrößerung des Geländes ist die Möglichkeit erhalten geblieben, die Ergebnisse der stark vermehrten Gefäßversuche und Kleinparzellenversuche feldmäßig nachzuprüfen (Abb. 3). Verschiedene Versuchsfelder wurden eingerichtet für die Bearbeitung rein praktischer Probleme. Entsprechend der Notwendigkeit, die Erzeugung von Eiweißfutter zu vermehren, wurde ein Fruchtfolgeversuch angelegt, der untersuchen soll, welche Änderungen in der Düngungsweise sich ergeben, wenn mehr Leguminosen in die Fruchtfolge einbezogen werden.

Da für die bäuerlichen Betriebe die Humusfrage zur Zeit von besonderem Interesse ist, wurde der Fruchtfolgeversuch, der auf dem alten

Erweiterungen der Versuchsstation
Berlin-Lichterfelde
des Deutschen Kalisyndikats

Marienfelder Weg

3. Stück
Anfang 1932

2. Stück
1931

5. Stück
1933

1. Stück
1929

4. Stück
Ende 1932

Berliner Strasse

Nord

Lageplan der Versuchsstation
Berlin-Lichterfelde
des Deutschen Kalisyndikats

Marienfelder Weg

Bodenbearbeitungs-Versuche

Gemüse-Versuche

Roggenschlag zwecks Ausgleichung des Bodens

Berliner Strasse

Nord

Abb. 2.

Erweiterungen der Versuchsstation Berlin-Lichterfelde des Deutschen Kalisyndikats.

Extension of the Experiment Station Berlin-Lichterfelde since 1929.

Lageplan der Versuchsstation Berlin-Lichterfelde des Deutschen Kalisyndikats.

Plan of the Experiment Station Berlin-Lichterfelde.



Abb. 3. Versuchsfelder für Freilandversuche. Field experimental plots.

Gelände in reiner Mineraldüngung durchgeführt worden war, einmal auf Grundlage einer Stallmistdüngung und einmal auf Grundlage der Gründüngung wiederholt. Ferner wurden Versuche angelegt, bei denen gut verrotteter Stallmist und ungenügend zersetzter Stallmist mit und ohne Beigabe von Handelsdüngern in ihrer Wirkung verglichen wurden.

Frühere Arbeiten der Versuchsstation hatten darauf hingewiesen, welch große Bedeutung die Zeit der Anwendung und die Art der Unterbringung der verschiedenen Düngemittel auf ihre Wirkung hat. Diese Frage wurde einer gründlichen Untersuchung unterworfen durch Anlage eines Versuchsfeldes mit 484 Parzellen, auf dem die verschiedenen Pflanzennährstoffe einzeln oder gemeinschaftlich, im Herbst oder im Frühjahr ausgestreut wurden, so daß sie entweder untergebracht werden konnten oder als Kopfdünger wirkten. Dieses Versuchsfeld, welches als **Dauerversuchsfeld** gedacht ist, zeigt bereits jetzt außerordentlich augenfällige Unterschiede in dem Bestand der verschieden gedüngten Parzellen



Abb. 4. Einer der Muster-Kleingärten. One of the model gardens.

und verspricht im Laufe der Jahre wertvolle Aufschlüsse über die zweckmäßige Anwendung der Handelsdünger, da hier alle überhaupt denkbaren Kombinationen vorgesehen sind.

Ein Düngungsversuch zu Pfirsichen, der gleichfalls als Dauerversuch angelegt ist, behandelt das Problem der Düngung einer sachgemäß angelegten Obstanlage.

Dem Interesse des Erwerbsgartenbaues dient eine größere Versuchsfläche für Feldgemüsebau, bei welcher die Humusfrage, besonders mit Hinsicht auf den Ersatz des für den Gärtner oft schwer erhältlichen Stallmistes durch Torf, geprüft wird. Die Versuchsanordnung bietet Gelegenheit, die Bedeutung des Stallmistes sowohl als Nährstofflieferant wie als Humusträger zu beobachten.

Für die zahlreichen Kleingärtner, von denen in Berlin allein über 80000 in Kleingärtnervereinen organisiert sind, wurde eine Anzahl von



Abb. 5. Apparatur zur Bestimmung der Assimilationsgröße.
Apparatus for assimilation studies.

Mustergärten eingerichtet, die den Kleingärtner nicht nur über die Düngung belehren, sondern ihm ganz allgemein zeigen sollen, wie er seinen Garten am besten anlegt, welche Sorten er anpflanzen soll und wie der Garten zu pflegen ist, und zwar im Rahmen der Mittel, die der Kleingärtner anwenden kann (Abb. 4). Als Normalgarten ist ein Kleingarten vorgesehen, der Obst, Gemüse und Blumen in gleicher Weise berücksichtigt, so daß der Bedarf des Haushaltes nach jeder Richtung hin gedeckt wird, und zugleich als Ziergarten der Erholung dient. Ein zweiter Garten stellt die Erzeugung von Gemüsen in den Vordergrund, ein dritter Garten ist als Liebhabergarten gedacht, in welchem Gewürze, die im Handel schwer erhältlich sind, sowie seltenere Gemüse gezogen werden. Ein vierter Garten ist mit Rasenflächen und einem Planschbecken versehen und als Vorbild für jene Kleingärtner gedacht, die sich den Luxus eines Ziergartens leisten können.



Abb. 6. Erweiterte Vegetationshalle. — Enlarged glass house for pot experiments.

Neben diesen unmittelbar den Bedürfnissen der Praxis dienenden Untersuchungen wurden auch die theoretischen Arbeiten, insbesondere auf dem Gebiete der Pflanzenphysiologie, erweitert, denn gerade hier fehlen noch vielfach die wissenschaftlichen Unterlagen, die für den weiteren praktischen landwirtschaftlichen Fortschritt unerläßlich sind. Eine für das Arbeitsgebiet der Versuchsstation vordringliche Frage ist die, inwieweit das Kalium am Assimilationsprozeß beteiligt ist. Von der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft wurde der Versuchsstation zur Fortsetzung von früher in der Zweigstelle Braunschweig-Gliesmarode der Biologischen Reichsanstalt durchgeführten Arbeiten über die Assimilation eine umfangreiche Apparatur zur Verfügung gestellt (Abb. 5). Um diese Apparatur zweckentsprechend aufstellen zu können, wurden geeignete Räumlichkeiten durch einen Anbau an die Vegetationshalle geschaffen. In Zusammenhang damit wurde gleichzeitig die

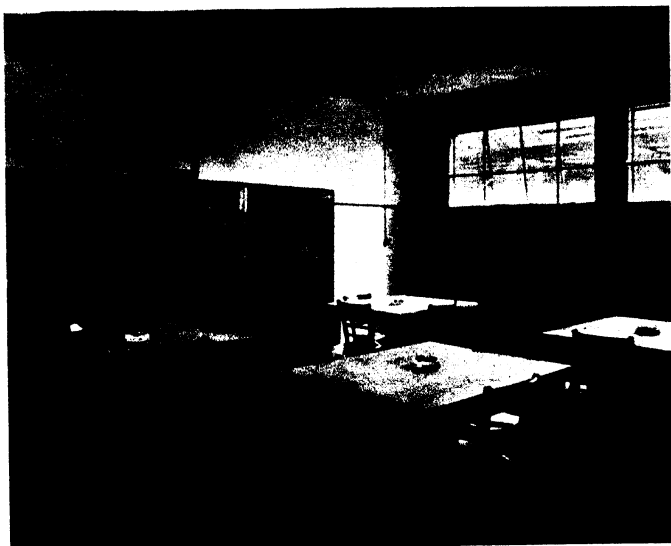


Abb. 7. Mannschaftsraum. Rest-room for workers.

Vegetationshalle selbst, sowie die Gleisanlage vergrößert mit dem Erfolge, daß die Versuchsstation jetzt über 780 Vegetationsgefäße beschickt, die in einer Glas- und Drahthalle auf einer Gleisanlage auf dreh- und verschiebbaren Wagen aufgestellt sind (Abb. 6).

Im Tropenhaus wurde die Möglichkeit, durch Regelung von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit die Wachstumsbedingungen der Pflanze gleichmäßig zu gestalten, ausgenutzt zur Durchführung von pflanzenphysiologischen Untersuchungen in Wasserkulturen. Die Wasserkulturen wurden in stehender Nährlösung durchgeführt, durch welche mittels einer Druckpumpe Luft hindurchgeblasen wird. Den Nährsalzlösungen wurden soviel Nährstoffe zugesetzt, als zur Bildung von etwa 10 g Trockensubstanz erforderlich sind. Es gelang ohne Schwierigkeit, die Maispflanze bis zur Blüte, Hafer bis zur Reife zu entwickeln.

Im Laboratorium selbst erwiesen sich Erweiterungen der Apparatur als nötig vor allem zum Zwecke der Ausarbeitung von kolorimetrischen und nephelometrischen Untersuchungsmethoden für die Boden- und Pflanzenanalyse. Diese Untersuchungen wurden von uns durchgeführt als Beitrag zu der von der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft herausgegebenen Sammlung von Arbeitsmethoden. Diese Arbeiten waren für die Versuchsstation von besonderer Wichtigkeit, weil sich der Mangel genügend genauer Analysenmethoden bei vielen pflanzenphysiologischen Arbeiten störend bemerkbar gemacht hat.

Im Rahmen der Erweiterungsbauten wurden auch die sozialen und sanitären Einrichtungen durch den Anbau von Aufenthaltsräumen, Bade- und Duschgelegenheit für die Arbeiter in zeitgemäßer Art vervollkommnet (Abb. 7).

PREFACE.

In nearly every country to-day there is a general opinion that agriculture can only be made to pay by the intensive use of all auxiliary methods which science can place at the disposal of the practical farmer. In countries where the area of cultivated land is relatively small, the realisation of the above point is shown by the fact that every possible acre is raised to the highest degree of productivity by the use of the best pedigree seeds or plants, thorough cultivation, careful regard to drainage and by the judicious and liberal use of commercial fertilisers. Where cultivated land is unlimited in extent, as in many oversea countries, agricultural science is rendering it possible to detach unsuitable districts from the agricultural area proper and to devote them to afforestation and other purposes, while more practical and scientific attention is paid to smaller areas which are better adapted to agriculture, instead of cultivating superficially too large tracts of land. Both in the latter countries and in countries of limited agricultural land one of the results of the spread of agricultural science has been a more liberal and intelligent use than ever of artificial fertilisers in the actual agricultural areas. The result of the breeding of superior types of plants, which has led in the last decade to better crops and larger yields, has been the evolution of new varieties which require and utilise larger quantities of nutrients than the old sorts which could subsist for a time on farmyard manure and the small supplies of the plant foods in the soil.

In several oversea countries, where for historical reasons the term "commercial fertiliser" was for years considered to be synonymous with phosphatic fertiliser, the dissemination of results of scientific research has led to the use of fertiliser mixtures containing all of the essential plant foods particularly increasing quantities of potash.

Formerly, the chief subject of potash investigation was a simple one, namely the effect of potash applied at various rates on the crop yield,

as compared with "Unmanured" or "Manuring without potash". To-day, however, the effect of potash in increasing the crop yield constitutes only a small part of the potash research work. We have now to consider the influence of potash manuring on the quality of the crops, on the starch content in grain and potatoes, on the thousand-grain weight of cereals, on the value of plant fibres and on the stabilisation of crops by increasing their standing power, but in addition, relationships between soil structure, soil fertility and the anions and cations of the different forms of potash fertilisers have now been recognised as problems equally worthy of the attention of the earnest worker in this field.

The first report on the work of the Agricultural Experimental Station at Berlin-Lichterfelde, published three years ago, contained a tolerably comprehensive account of laboratory investigations into soils, with special reference to tropical soil types. The effect of potash on the arid soils of the tropics and subtropics, which perhaps represent the most important potential territory for the feeding of the World's population in the future and where often negative results were obtained through the wrong use of commercial fertilisers, provides a field for investigation of which the scope could only be properly appreciated when the investigation had actually been commenced. The fundamental investigation of this territory has been continued with unabated energy in the intervening period. Thanks to our investigations, which are based upon thousands of soil analyses from all over the world, we can now offer in a definite form the Lichterfelde method of soil analysis to research workers. Our work should, of course, be judged by comparing the Lichterfelde method with all the other usual methods of soil analysis published in literature, but it has clearly demonstrated the striking importance of the water economy of the soil as a factor in soil fertility and has led to the inevitable conclusion that a rapid, practical method for measuring the fertility and the manurial requirements of different soil types is still not available. Moreover, no method could ever be evolved so as to give an exact answer, and even the best methods of soil analysis could put into the hands of only a practical expert a basis for the evaluation of any particular soil. This conclusion will appeal more to the agricultural chemist if, in addition to the usual soil types found in Central Europe, he has an experience of the different soil types

of other climatic regions. Thanks to the world-wide organisation of the Potash Syndicate, we have been in a position to examine soil types not only of the typical European countries but of all the important agricultural oversea districts. Although our investigations are not concluded, we consider that we now possess some useful basal data by which we can evaluate and treat both European soils and soils outside Europe.

As has already been pointed out, agricultural problems, and especially the handling of soil questions, are fundamentally dependent upon local agricultural conditions. It is of special interest in this respect to compare conditions in different countries, e. g. in the United States of America with those in Germany. The function of the German farmer is to secure as large yields as possible, consistent with suitable quality, and especially maximum yields of crops rich in protein, fat and fibres respectively. In the United States of America, however, where agricultural over production during recent years has been an economic calamity, the problem is quite a different one. In most oversea countries the problem is to raise the quality of the crops, so far as quality influences the capacity of the market to absorb them, to as high a degree as possible and to promote the culture only on the most suitable soils and by the best possible crop treatment. In consequence of such agricultural conditions, our station has decided to tackle problems such as the investigation of the relationship between potash manuring and the length and strength of the cotton fibre and of the sisal hemp and how taste and keeping qualities of fruits and vegetable are influenced by the use of different potash fertilisers. All agricultural problems, whether they pertain to intensive or to extensive areas whose welfare is linked up with economic conditions so far as prices are concerned, require for their successful solution a knowledge of soil factors, such as the influence of the soil and of the manuring on the crop yield and the crop quality respectively. This knowledge can only be secured by thorough and fundamental scientific investigations. The problem of the effects of potash on the organism of the plant can only be solved when we understand better the physiological effect of potash on the life processes in the cell, assimilation and growth, on the synthesis of the plant material and on the chemical composition of the plant. A satisfactory solution of these questions is conditional upon an appreciation

of the part played by other elementary materials which affect the plant, as supplied by the soil or in the form of fertilisers. Here we had a field for investigation which an agricultural experiment station set up to solve potash questions could not possibly neglect. Interesting results have emerged from these investigations, as, for example, the symptoms of magnesia deficiency and how they could be combated by the application of soluble magnesium salts.

As the great majority of our agricultural plants provide, as their main product, food for mankind and the animal kingdom, we have also, since the inception of the station, paid particular attention to the effect of food stuffs of different potash content on men and animals. We also desired to subject to a thorough investigation the allegations as to the reduction of health of the organism by the use of artificial fertilisers. The work connected with the investigation of this problem, in which the Agricultural Experimental Station at Lichterfelde has co-operated, is also published in this second report of the station.

Although the primary object of this special station is to secure practical economic results by the solution of potash problems, we still hope that many phases of our work may be found to have a value as contributions to the achievement of scientific knowledge.

Most of the papers in the volume have already been published in the agricultural press and as papers at International Congresses. We hope that the compilation of these papers in a handy form will be welcome to the numerous workers engaged with potash manurial problems.

I. Bodenkundliche Arbeiten.

1. Der Nährstoff- und Wasserhaushalt der Böden.

Der Landwirt verlangt von einer Bodenuntersuchung, daß sie ihm angibt, welche Mengen an pflanzenlöslichen Nährstoffen ein Boden den Pflanzen unter normalen bzw. günstigen Witterungsverhältnissen im Laufe einer Vegetationsperiode zur Verfügung stellen kann und welche Mengen an Nährstoffen in Form einer Düngung zugeführt werden müssen, um den Bedarf der angestrebten Ernte zu decken. Eine Bodenuntersuchungsmethode, welche diesen Anforderungen genügen soll, darf sich nicht darauf beschränken, festzustellen, welche Mengen der einzelnen Nährstoffe eine Bodenprobe im Laboratorium unter konventionell bestimmten Lösungsbedingungen aufweist, sondern sie muß die Gesetzmäßigkeiten ermitteln, nach denen der Boden diese Nährstoffe unter den gegebenen natürlichen Bedingungen an die Pflanze abgeben kann. Die Menge von Nährstoffen, welche ein Boden an die Pflanzen abgibt, wird von einer ganzen Reihe von Faktoren physikalischer und chemischer Art beeinflußt, insbesondere von seiner Fähigkeit, Wasser aufzuspeichern, der Beweglichkeit des Wassers im Boden, der Festlegung und dem Freiwerden von Nährstoffen durch die Austauschadsorption der Bodenkolloide. So hängt z. B. die Kalilieferung des Bodens an die Pflanze nicht nur davon ab, welchen Gehalt an Kali von einer bestimmten Löslichkeit der Boden aufweist, sondern sie stellt sich als verwickelte Funktion einer ganzen Reihe von sich gegenseitig beeinflussenden Eigenschaften des Bodens dar.

Obgleich an und für sich der Aufgabenkreis unserer Versuchsstation sich auf die Bearbeitung von unmittelbar die praktische Landwirtschaft betreffenden Problemen beschränkt, war es bei der Bearbeitung der für die Praxis so wichtigen Frage, wie der Kalidüngebedarf der Böden zu ermitteln ist, nicht zu umgehen, daß wir uns auch mit

allgemeinen theoretischen Fragen der Bodenkunde befassen mußten, um die Gesetzmäßigkeiten zu finden, die den Schlüssel zur Beurteilung des gesamten Kalihaushaltes der Böden und damit ihres Kalidüngerbedarfes liefern.

Bei den früher üblichen Bodenuntersuchungsmethoden fand der Wasserhaushalt der Böden nicht die eingehende Berücksichtigung, die ihm zukommt, da er doch die Nährstofflieferung der Böden an die Pflanzen beherrscht. Die Bildung von 1 g Trockensubstanz erfordert die Aufnahme von ca. 400 bis 600 g Wasser; infolge dieses großen Wasserbedarfes der Pflanzen kommt das Wasser sehr leicht in die Rolle des Minimumfaktors, und Wassermangel beeinträchtigt nicht nur die Höhe der Erträge und die Wirkung der Düngung, sondern beschränkt auch die Auswahl der anzubauenden Pflanzen.

Die qualitative und quantitative Ermittlung des Wasserhaushaltes muß deshalb einen integralen Bestandteil einer Bodenuntersuchungsmethode bilden, die Anspruch auf allgemeine Anwendbarkeit stellt, und wir haben ihr bei unseren Untersuchungen die gebührende Rolle eingeräumt. Daß bei diesen Untersuchungen sehr weitgehend auf physikalisch-chemische Fragen allgemeiner Art eingegangen wurde, war zwecks hinreichender Begründung der von uns für die Berechnung des Düngerbedarfs aufgestellten Formeln nicht zu vermeiden.

a) Der Feinbau der Bodenteilchen.

Sowohl für den Wasserhaushalt wie für den Nährstoffhaushalt der Böden kommt ihrem Gehalte an kolloidalen Bestandteilen eine ausschlaggebende Bedeutung zu.

Die Bodenkolloide bilden zwar der Menge nach nur einen verhältnismäßig geringen Teil der Bodensubstanz; da ihre Gesamtoberfläche aber infolge ihrer äußerst feinen Verteilung außerordentlich groß ist, können sie das physikalische und chemische Verhalten des Bodens sehr stark beeinflussen.

Für die Beurteilung der Eigenschaften eines Bodens ist es daher wichtig zu wissen, welchen Anteil an Teilchen von kolloidaler Größenordnung er aufweist. Diese Bestimmung geschieht mittels der mechanischen Bodenanalyse. Um näheren Einblick in das Verhalten der Teilchen von kolloider Größenordnung zu gewinnen, führen wir diese

Bestimmung einmal in der Weise durch, daß wir durch Zusatz eines Peptisationsmittels den Boden in seine einzelnen Teilchen zerlegen, zum anderen Male in Wasseraufschlämmung, bei der ein großer Teil der Zusammenballungen von kleinsten Bodenteilchen zu größeren Krümeln erhalten bleibt. Das Verhältnis der Differenz der bei Peptisation und in Wasseraufschlämmung gefundenen Tonmengen zu der bei Peptisation gefundenen Tonmenge in Prozenten ausgedrückt bezeichnen wir als Strukturfaktor. Dieser Strukturfaktor ist zwar der Natur seiner Bestimmung nach nur ein konventioneller Wert, da die Menge der in Wasseraufschlämmung erhalten bleibenden Krümel von der Art der Behandlung des Bodens bei der Analyse abhängt; er läßt bei gleichmäßiger Ausführung der Bestimmung aber Vergleiche verschiedener Böden zu. Konvergiert der Strukturfaktor gegen Null, so zeigt dies an, daß der Boden sehr stark zur Dichtschlämmung neigt, konvergiert er gegen 100 Prozent, so bedeutet dies, daß der Boden in natürlicher Lagerung, trotz seines hohen absoluten Tongehaltes, gut koaguliert ist.

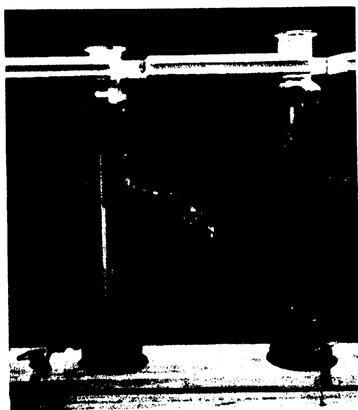


Abb. 8. Serienausführung von mechanischen Bodenanalysen nach der Pipetten-Methode.
Apparatus for mass determination of mechanical properties of the soil by the Pipett-Method.

Für die Ausführung der mechanischen Bodenanalyse haben wir die in Bd. 1, S. 94—95 angegebene Methode in dem Punkte geändert, daß wir nach dem Überführen der mit Lithiumkarbonat peptisierten Bodenaufschlämmung in den Köttgenschen Schlämmzylinder 10 ccm einer 6proz. Lösung von Wasserglas zusetzen (Abb. 8).

Die 10 ccm, die jeweils mit der Pipette abgezapft werden, entsprechen 0,25 g Boden; da zur Peptisation aber der Aufschlämmung von 25 g Boden 500 ccm 0,2proz. Li_2CO_3-Lösung sowie 10 ccm einer 6proz. Lösung von Wasserglas zugesetzt worden sind, enthalten die entnommenen 10 ccm Lösung auch noch 0,01 g Li_2CO_3
+ 0,006 g Wasserglas.

Von dem gefundenen Rückstand müssen also 0,016 g abgezogen werden, um die Menge an aufgeschlämmten Bodenteilchen zu ermitteln, die in den 10 ccm enthalten sind.

Die Berechnung der absoluten Fraktionswerte I unter Einrechnung der für den Zusatz von Li_2CO_3 und Wasserglas sich ergebenden Korrekturen gestaltet sich dann wie folgt:

1. 4 × Siebrückstand	% Grobsand I
2. 400 × (Rückstand von Vol. II — 0,016)	% Ton I
3. 400 × (Rückstand von Vol. I — 0,016)	% (Ton I + Schluff I)
4. % (Ton I + Schluff I) — % Ton I	% Schluff I
5. 100 — (% Ton I + % Schluff I + % Grobsand I)	% Feinsand I

Die Fraktionswerte II (Suspension in dest. Wasser) werden ebenso berechnet, nur daß bei 2 und 3 die Korrektur wegfällt:

1. 4 × Siebrückstand	% Grobsand II
2. 400 × Rückstand von Vol. II	% Ton II
3. 400 × Rückstand von Vol. I	% (Ton II + Schluff II)
4. % (Ton II + Schluff II) — % Ton II	% Schluff II
5. 100 — (% Ton II + % Schluff II + % Grobsand II)	% Feinsand II

Der Strukturfaktor ist:

$$\frac{\text{Ton I} - \text{Ton II}}{\text{Ton I}} \cdot 100. \qquad (1)$$

Durch ihre Fähigkeit, Wasser zu adsorbieren, regeln die Bodenkolloide sowohl den absoluten Gehalt eines Bodens an Wasser, wie auch die Ausnutzbarkeit des Bodenwassers durch die Pflanzen. Mit der Bodenlösung stehen die Bodenkolloide in steter Wechselwirkung durch den zwischen Bodenkolloiden und Bodenlösung stattfindenden Ionenaustausch, welcher Nährstoffe sowohl löslich macht wie auch festlegt. Um die bei diesen Vorgängen waltenden Gesetzmäßigkeiten zu erkennen, gingen wir zurück auf eine Betrachtung des Feinbaues der Bodenteilchen, wie er sich auf Grund der neuzeitlichen Auffassung der Atome als Gebilde aus Elektronen ergibt.

Im Boden weisen die kleinsten Teilchen gewöhnlich den Charakter eines Anions auf; sie haben einen negativen Ladungsüberschuß, der durch Anlagerung von Kationen kompensiert werden muß.

Der Anziehungskraft der geladenen Teilchen sind nicht nur die Ionen unterworfen, die eine positive oder negative Ladung tragen, sondern auch Moleküle mit einem „Dipol“charakter.

Zu den Dipolen, die nach außen hin ein elektrisches Restfeld aufweisen, gehört infolge seines unsymmetrischen Molekülbaues das Wasser. Auch das Wasser wird daher von elektrisch geladenen Massenteilchen angezogen. Diese bodenkundlich besonders wichtige Fähigkeit des Wassers, sich an elektrisch geladene Teilchen anzulagern, nennt man Hydratation.

Die Anlagerung des Dipols Wasser findet nun nicht nur an festen Grenzflächen statt, sondern auch die im Wasser gelösten Ionen werden sich, da sie eine elektrostatische Ladung aufweisen, mit einer Hülle von angelagertem Wasser umgeben. Die Menge des von einem Ion durch Hydratation gebundenen Wassers hängt von seiner Ladungskonzentration ab, also von seiner Wertigkeit und seinem Durchmesser. Das Wasserstoffion nimmt dabei bezüglich seiner Hydratationsgröße eine Sonderstellung ein; da es wegen seines geringen Durchmessers und seiner hohen Geschwindigkeit die Wasserhülle durchschlägt, ist es trotz seiner hohen Ladungskonzentration nur wenig hydratisiert.

b) Der Wassergehalt der Böden.

α) Hygroskopisches Bodenwasser.

Die Auffassung der Wasseranlagerung als einer Wirkung elektrischer Anziehungskräfte kann zur Erklärung der Hygroskopizität der Böden dienen, also ihrer Fähigkeit, Wasserdampf unter Auftreten einer Wärmetönung besonders fest zu adsorbieren. Aus Wasserdampf wird das Wasser besonders leicht adsorbiert, da im Wasserdampf die einzelnen Wassermoleküle nicht wie im flüssigen Wasser zu größeren Molekülgruppen verbunden sind und daher ein besonders starkes Dipolmoment aufweisen.

Bei kristallinen Substanzen beschränkt sich die Anlagerung von Wassermolekülen aus dem Dampfraum in der Regel auf eine Molekülschicht, da die zur Verfügung stehenden elektrischen Kräfte nur gering sind. Trotzdem kann man die Hygroskopizität eines Bodens nicht der Gesamtoberfläche aller Bodenteilchen proportional setzen. An den Ecken und Kanten treten nämlich größere Adsorptionskräfte auf, die dort mehrere Wasserschichten anlagern, so daß eine Parallelität zwischen Dampfanlagerung und Oberflächengröße um so weniger vorhanden ist, je stärker die Substanz zerkleinert ist. Bei Kolloiden ist eine Parallelität zwischen Wasseradsorption und Oberfläche überhaupt nicht mehr vorhanden, da bei ihnen die exponierten Ecken und Kanten infolge ihrer feinen Zerteilung überwiegen.

Eine Beziehung zwischen Oberfläche und Menge des hygroskopisch gebundenen Wassers wird aber vor allem dadurch hinfällig, daß auch

die von den Kolloiden durch polare Adsorption festgehaltenen Ionen Wasser binden. Die den festen Teilchen des Bodens innewohnenden elektrischen Ladungen werden in erster Linie durch die Adsorption von Ionen in Anspruch genommen, da die Anziehungskräfte zwischen diesen und den festen Bodenteilchen stärker sind als die gegenüber den Dipolen der Wassermoleküle auftretenden Anziehungskräfte. Für die Hygroskopizität spielen deshalb die direkt von den festen Teilchen ausgehenden Kräfte nur eine untergeordnete Rolle gegenüber der Wasserbindung durch die Ionen des Ionenschwarms, der die festen Teilchen umhüllt; denn diese lagern in größerem Umfange Hydratationswasser an, soweit es die ihnen nach Absättigung ihrer Ladung noch verbleibenden freien Restvalenzen gestatten. Das Verhalten des Bodens gegen Wasser wird also in erster Linie von der Menge und der Art der Ionen bestimmt sein, die den Sorptionskomplex bilden, und die schwache apolare Wassersorption der Oberflächen der Bodenteilchen muß hinter die Hydratation der Schwarmionen zurücktreten.

Welche Wassermengen von einem Boden angelagert werden, wird also nicht durch seine Oberfläche, sondern hauptsächlich durch das Hydratationsbestreben der Schwarmionen bestimmt. Weil jedes am Schwarm beteiligte Ion seine individuelle Hydratationsenergie besitzt, muß mit dem Wechsel der Ionenbelegung der Kolloide sich auch die Wasseranlagerung ändern. Da die Hydratationsgröße der einzelnen Schwarmionen um Hunderte von Prozenten schwankt, muß sich, wenn ein hochhydratisiertes Ion durch ein nur wenig hydratisiertes Ion ersetzt wird, das gesamte Verhalten des Kolloidteilchens zum Wasser ändern. Darauf beruht die Wirkung chemischer Meliorationsmittel, wie z. B. von Gips oder schwefelsaurem Kali auf Natronböden.

Nach dieser Auffassung stellt sich das Bild eines mit hygroskopischem Wasser beladenen Teilchens wie folgt dar: Durch die von dem Teilchen ausgehenden negativen elektrischen Feldkräfte wird ein Schwarm von Kationen festgehalten, die von einer Hydrathülle umgeben sind. Damit ein Gleichgewichtszustand herrscht, muß die Menge des von diesen Ionen festgehaltenen Schwarmwassers so groß sein, daß der Dampfdruck des Schwarmwassers dem Dampfdruck des ihn umgebenden Dampfraumes entspricht. Den Dampfdruck und damit den osmotischen Druck des Schwarmwassers kann man also dadurch bestimmen, daß

man ein trocknes Kolloidsalz in den Dampfraum einer Lösung von bekanntem osmotischem Druck bringt. Sobald ein Ausgleich eingetreten ist, braucht man nur festzustellen, wieviel Wasser das Kolloidsalz aufgenommen hat, um die Korpuskularnormalität n_{CO} des Schwarmwassers zu ermitteln. Sie ist gleich dem osmotischen Druck π der mit ihm im Dampfgleichgewicht stehenden Lösung, dividiert durch RT, dem osmotischen Druck einer Normallösung bei $t°$ C, der für 20° den Wert 22,4 annimmt,

$$n_{CO} = \frac{\pi}{RT}.$$

Andererseits ist die Korpuskularnormalität der adsorbierten Wasserhülle gleich der Totalmenge der osmotisch wirksamen Korpuskeln Σ Kationen in Millimol, geteilt durch die Menge g des gebundenen Wassers, also

$$n_{CO} = \frac{\Sigma \text{ Kationen}}{g}.$$

Das von 100 g Boden gebundene Wasser berechnet sich somit zu

$$g = \frac{\Sigma \text{ Kationen}}{n_{CO}} = \frac{\Sigma \text{ Kationen} \cdot RT}{\pi}.$$

Diese Formel gilt nur für den Idealfall, daß die angelagerten Ionen frei beweglich sind. Dies sind sie in Wirklichkeit nicht völlig, sondern nur innerhalb der Grenzen des Schwarmwassers, da sie einen gewissen Abstand von der Oberfläche des adsorbierenden Teilchens nicht überschreiten können. Die Berechnung des angelagerten Wassers entspricht daher, wie nachstehende Tabelle 1 zeigt, im allgemeinen nicht dem experimentellen Befund.

Tabelle 1.

Gleichgewichtslösung: den	Gleichgewichtslösung: Σ Kationen je 100 g Boden	g (Wasser angelagert je 100 g Boden)	0,5 n KNO_3: n_{CO} = $\frac{\Sigma \text{ Kationen}}{g}$	0,5 n KNO_3: Osmot. Druck π berechnet	0,5 n KNO_3: Osmot. Druck π gefunden	1,0 n KNO_3: g	1,0 n KNO_3: n_{CO}	1,0 n KNO_3: Osmot. Druck π berechnet	1,0 n KNO_3: Osmot. Druck π gefunden	1,5 n KNO_3: g	1,5 n KNO_3: n_{CO}	1,5 n KNO_3: Osmot. Druck π berechnet	1,5 n KNO_3: Osmot. Druck π gefunden
56	18,71	11,08	1,68	40,3	21,3	9,80	1,80	45,4	39,2	8,80	2,13	51,1	57,0
58	7,98	4,46	1,78	42,7	21,3	3,70	2,15	51,0	39,2	3,48	2,20	55,0	57,6
59	11,08	6,73	1,64	39,2	21,3	5,83	1,90	45,6	39,2	5,42	2,05	49,2	57,6
60	20,38	11,27	1,81	43,4	21,3	10,06	2,02	48,5	39,2	9,12	2,23	53,5	57,6
62	23,65	14,54	1,63	39,1	21,3	12,24	1,93	46,3	39,2	14,54	2,05	49,2	57,6
			1,71	40,9	21,3		1,98	47,5	39,2		2,15	51,6	57,6

Obgleich die Menge des angelagerten Wassers bei den untersuchten Böden sehr verschieden ist, ist die im Gleichgewichtszustande sich ergebende Korpuskularnormalität des aus dem Dampfraum angelagerten Schwarmwassers und der daraus berechnete osmotische Druck nahezu konstant. Zwischen den berechneten Druckwerten des Schwarmwassers und den Druckwerten der Vergleichslösungen ergeben sich jedoch Unterschiede. Der berechnete Druck ist höher als der gefundene, wenn der Boden mit Lösungen von niederer Konzentration im Gleichgewicht ist; hat die Gleichgewichtslösung eine höhere Konzentration, so ist umgekehrt der berechnete Wert niedriger als der gefundene. Es muß also eine Gleichgewichtskonzentration existieren, bei welcher der berechnete und der gefundene Wert zusammenfallen. Durch Interpolation aus obigen Werten ergibt sich, daß dies bei einem osmotischen Drucke von 50,5 atm und einer Korpuskularnormalität von 2,08 ± 0,1 der Fall ist. Dies ist der Dampfdruck einer 10proz. Schwefelsäure bei 20° C, also einer Lösung, über welcher der Boden nach MITSCHERLICH gerade soviel Wasser anlagert, als zur Entbindung seiner totalen Benetzungswärme erforderlich ist. Nach Erreichen dieses Wertes, also nach Zusammenbringen des Bodens mit einer der Benetzungswärme entsprechenden Wassermenge, steht freie Energie nicht mehr zur Verfügung, die größte Hydratation der Schwarmionen ist erreicht. Eine weitere Wasseranlagerung erfolgt nicht mehr durch die Wirkung der Schwarmionen, sondern höchstens durch Assoziation der Dipole des Wassers, die Festigkeit der Bindung des Wassers nimmt dann ab. Unterhalb dieser Grenzzone muß andererseits die Festigkeit der Bindung des Wassermoleküle rapid ansteigen. Zwischen den berechneten und gefundenen Druckwerten müssen daher, wenn der Boden mit einer verdünnten Lösung im Gleichgewicht steht, Unterschiede zugunsten der berechneten Werte und im Falle eines Gleichgewichtes mit einer konzentrierten Lösung zuungunsten der berechneten Werte bestehen.

Bei der nach MITSCHERLICH bestimmten Hygroskopizität fallen dagegen die experimentell gefundenen und die berechneten Werte des osmotischen Druckes des Schwarmwassers zusammen. Man kann infolgedessen die Hygroskopizität (von 100 g Boden angelagertes hygroskopisches Wasser) rechnerisch ermitteln nach der Gleichung:

$$Hy = \frac{\Sigma\,\text{Kationen}}{\text{Korpuskularnormalität der 10proz. } H_2SO_4}$$

$$= \frac{\text{Dampfdruck einer Normallösung bei } 20^\circ \cdot \Sigma\,\text{Kationen}}{\text{Dampfdruck von 10proz. Schwefelsäure bei } 20^\circ}$$

$$= \frac{22{,}4 \cdot \Sigma\,\text{Kationen}}{50{,}5} = 0{,}44\ \Sigma\,\text{Kationen}.$$

Bei der Bestimmung der Summe der Schwarmionen bzw. Σ Kationen ist folgendes zu beachten: Wenn man die adsorbierten Kationen mit einem Verdrängungsmittel bestimmt, so findet man die Summe der Äquivalenzen. Die Ionen besitzen jedoch verschiedene Wertigkeiten, und wenn der Schwarm sich aus verschiedenen Ionen zusammensetzt, stimmt die Summe der Kationen nicht mit der Summe der Äquivalenzen überein. Man muß von der in Milliäquivalenten ausgedrückten Kationenmenge T daher die Hälfte der zweiwertigen Kationen und zwei Drittel der dreiwertigen Kationen abziehen, um Σ Kationen zu erhalten. Will man die Hygroskopizität auf Grund der Bestimmung der durch Ionenverdrängung gefundenen Sättigung T berechnen, so geschieht dies mithin in folgender Weise:

$$Hy = 0{,}44 \cdot (T - {}^1\!/_2\ \Sigma\,\text{Millival zweiwertig. Kationen} - {}^2\!/_3\ \Sigma\,\text{Millival dreiwertig. Kationen}).$$

Für eine Reihe von Böden, die keine nennenswerten Salz- und Humusmengen enthielten, ergab ein Vergleich der experimentell nach MITSCHERLICH bestimmten und der nach der Gleichung

$$Hy = 0{,}44 \cdot \left(T - \frac{\frac{Ca}{2} + \frac{Mg}{2}}{2}\right) \tag{2}$$

berechneten Hygroskopizität die folgenden Zahlen (Tabelle 2):

Tabelle 2.

Nr.	$\left(T - \frac{\frac{Ca}{2} + \frac{Mg}{2}}{2}\right)$	*Hy* ber.	*Hy* gefund.	Nr.	$\left(T - \frac{\frac{Ca}{2} + \frac{Mg}{2}}{2}\right)$	*Hy* ber.	*Hy* gefund.
K 55	22,86	10,06	10,83	K 59	11,08	4,87	4,90
K 56	18,68	8,22	8,26	K 60	20,30	8,93	8,70
K 57	18,87	8,30	8,39	K 61	11,16	4,91	4,33
K 58	7,95	3,50	3,24	K 62	23,61	10,39	10,56

Die recht gute Übereinstimmung zwischen Rechnung und Beobachtung spricht für die Berechtigung unseres Vorgehens, die physikalische Eigenschaft der Hygroskopizität aus den chemischen Eigenschaften der Böden abzuleiten.

Für saure Böden benutzen wir die Formel:

$$Hy = 0{,}44 \cdot \left| T - 0{,}5 \left(\frac{Ca}{2} + \frac{Mg}{2} \right) - \frac{2}{3} \cdot \frac{Al}{3} \right| .$$

Für genaue Bestimmungen von *Hy* ist es selbstverständlich vorzuziehen, an Stelle dieser immerhin nur angenäherten indirekten Berechnung die direkte Bestimmung der Hygroskopizität vorzunehmen.

β) Totes Bodenwasser.

Innerhalb des Schwarmwassers vermindert sich auf Grund des COULOMBschen Gesetzes die Dichtigkeit der Packung der Ionen mit abnehmender Entfernung vom Teilchen sehr schnell. Das hat zur Folge, daß der osmotische Druck des Schwarmwassers in unmittelbarer Nähe des Teilchens sehr hoch ist, daß also die dem Teilchen am nächsten liegenden Wasserschichten mit ungeheurer Kraft festgehalten werden, während mit steigender Entfernung vom Teilchen ein Punkt erreicht wird, an dem der osmotische Druck des Schwarmwassers dem osmotischen Druck der umgebenden Lösung gleich ist. Kommt mit einem solchen von einer Wasserhülle umgebenen Bodenteilchen eine Pflanzenwurzel, also ein zweites System mit gegebenem osmotischem Druck, in Berührung, so wird sie nur dann Wasser aufnehmen können, wenn ihr osmotischer Druck höher ist als der durch die Ionenschwärme in der Wasserhülle des Teilchens erzeugte Druck.

Den Verlauf des Druckabfalls im Schwarmwasser zeigt Diagramm Abb. 9.

Aus diesem Diagramm kann man für jeden Wurzelsaugdruck einer Kulturpflanze das tote Bodenwasser als Vielfaches der Hygroskopizität ersehen.

$$\text{Totes Bodenwasser} = A \cdot Hy .$$

In dieser Kurve ist allerdings keine Korrektur für den Gehalt der Bodenlösung an Salzen angebracht. Durch einen Salzgehalt der Bodenlösung wird die Differenz des osmotischen Druckes des Bodenwassers

gegenüber der Pflanzenwurzel vermindert, das tote Bodenwasser also vermehrt. Besonders auf ariden Böden kann dieser Umstand von wesentlicher Bedeutung sein. Die für die Berücksichtigung des Gehaltes der Bodenlösung notwendige Korrektur ergibt sich zu:

$$\text{Korrektur} = \frac{RT \sum \text{Kationen gelöst}}{\pi}.$$

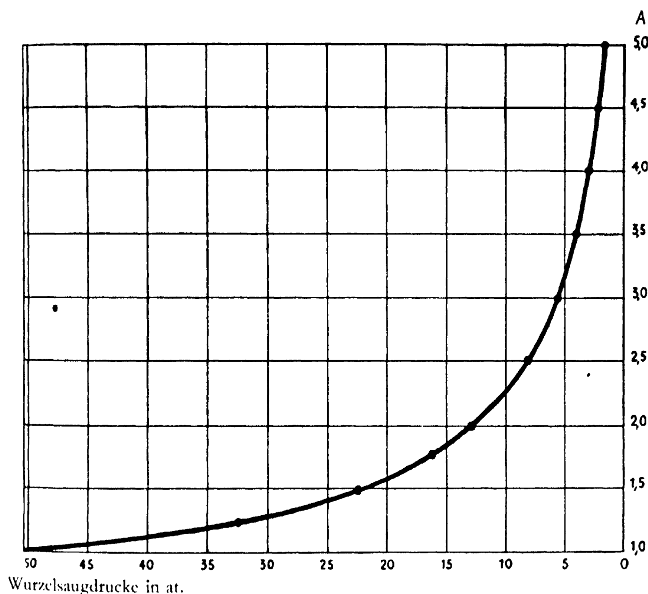


Abb. 9. Abhängigkeit des Faktors A vom Wurzelsaugdruck.
The factor A as a function of the suction force of plant roots.

Unter der Annahme, daß in einer relativ konzentrierten Bodenlösung die Dissoziation der Bodensalze im Mittel 0,5 ist, ist für die angenäherte Berechnung des Korrekturfaktors das 1,5 fache der löslichen Basen in Ansatz zu bringen. $CaSO_4$ kann dabei vernachlässigt werden, da es infolge seiner geringen Löslichkeit niemals in so hohen Konzentrationen

auftreten kann, daß es den osmotischen Druck wesentlich beeinflußt. Die Formel für die Korrektur ergibt sich somit zu:

$$\text{Korrektur} = \frac{22{,}4 \cdot 1{,}5\left(\text{Na} + \text{K} + \frac{\text{Mg}}{2}\right)}{\text{Wurzelsaugdruck in atm}}.$$

Unter Berücksichtigung dieser Korrektur wird der Ansatz für den als „totes Wasser" zu bezeichnenden Anteil des Gesamtwassers des Bodens:

$$\text{„Totes" Wasser in \%} = A \cdot Hy + \frac{33{,}6\left(\text{Na} + \text{K} + \frac{\text{Mg}}{2}\right)}{\text{Wurzelsaugdruck in atm}}. \quad (3)$$

γ) Minimale Wasserkapazität.

An den Stellen, wo Bodenteilchen sich berühren, bilden sich aus den dünnen Wasserhäutchen, die beim Versickern von Wasser an der Oberfläche haftenbleiben, Wasserringe, die das Haftwasser oder Porenwinkelwasser des Bodens darstellen, welches ohne Verbindung mit dem Grundwasser im Boden verbleibt. Den Wassergehalt, den ein Boden unter dem Einfluß dieser Oberflächenkräfte aufweisen kann, bezeichnet man als seine minimale Wasserkapazität.

Im Sinne unserer Auffassung würde als minimale Wasserkapazität die maximale Wassermenge zu betrachten sein, die durch die Molekularkräfte der Grenzflächen unabhängig von der Lagerung des Bodens und ihren Zufälligkeiten, welche die Bildung von Menisken bedingen, gegenüber der Schwerkraft festgehalten werden. Da diese Molekularkräfte von der Art der angelagerten Ionen abhängen, ist auch die minimale Wasserkapazität, der eine große praktische Bedeutung für viele Fragen der Bodenmeliorationen und besonders der Irrigation zukommt, als eine Funktion des Kationengehaltes der sorbierenden Komplexe aufzufassen.

Zur experimentellen Bestimmung der minimalen Wasserkapazität dient die in Bd. 1, S. 98 beschriebene Methode.

δ) Quellung.

Die Hydratation der Schwarmionen schafft fest angelagerte Wasserschichten um die einzelnen Bodenteilchen, die den Boden aufquellen

lassen. Die angelagerten Wasserschichten drängen die festen Bodenteilchen auseinander und erhöhen damit die Hohlräume zwischen ihnen, also das Porenvolumen. Dies kann aber nur so lange geschehen, wie der Druck der übergelagerten Schichten es zuläßt. Die anlagerbare Wassermenge, also auch der Quellungsdruck, ist hauptsächlich abhängig von der Menge und Art der Kationen. Sind nur wenige Kationen von geringem Hydratationsvermögen vorhanden, so hat der Boden eine geringe Hygroskopizität und die sich bildenden Wasserschichten nur einen geringen Druck. Schon unter geringem Druck zeigt ein solcher Boden das minimale Porenvolumen. In Böden, die stark mit Kationen von hohem Hydratationsvermögen belegt sind, sind die Wasserschichten dagegen dick und werden mit großer Kraft festgehalten. Die Quellung solcher Böden ist entsprechend hoch. Das Hydratationsbestreben wird sich so weit auswirken, d. h. der Boden wird so lange Wasser anlagern, bis der Druck, der auf ihn wirkt, der Saugkraft der Kolloide die Waage hält. In jeder Bodenschicht ist also entsprechend dem Drucke, der auf ihr lastet, nur ein ganz bestimmter Betrag von Quellungswasser möglich.

Im Boden erfolgt eine Entquellung bereits bei Drucken, die noch weit unter dem Quellungsdruck liegen. Dies beruht darauf, daß die Einzelteilchen sich punktförmig berühren, so daß stellenweise je Flächeneinheit bedeutend höhere Drucke auftreten, als dem Gesamtdruck entspricht.

Mit abnehmendem Druck können sich zwischen den Teilchen mehr und mehr Wasserschichten einschieben, bis schließlich in den obersten Lagen des Bodens, wenn das dazu nötige Wasser vorhanden ist, die volle Hydratation, also die volle Quellung herrscht. Beim Eintrocknen des Bodens zeigt sich als entgegengesetzte Erscheinung ein Schrumpfungsvorgang, der zur Ausbildung von Rissen im Boden führen kann.

Die Bestimmung der linearen Schrumpfung geschieht wie folgt:

Etwa 300 g Boden werden mit einer Wassermenge, die 80% der minimalen Wasserkapazität entspricht, versetzt, gründlich durchgeknetet und im geschlossenen Gefäß zwölf Stunden sich selbst überlassen. Dann wird der Boden in ein Aluminiumschälchen von genau 10 cm lichtem Durchmesser mit genau senkrechten Wänden fest eingepreßt und die Oberfläche sorgfältig geglättet. Das gefüllte Schälchen, das vor dem Füllen leicht eingefettet wird, wird gewogen, bei 105° C unter langsamem Anheizen zur Gewichtskonstanz getrocknet und wieder gewogen.

Berechnung:

a) % lineare Schrumpfung = 100 — Durchmesser der trockenen Scheibe in mm; (4a)

b) $$\text{Vol.-\% feste Substanz} = \frac{\text{Gewicht der trockenen Scheibe} \cdot 100}{\text{Schälchenvolumen} \cdot \text{Spez. Gewicht}}; \quad (4b)$$

c) Vol.-% Wasser

$$= \frac{(\text{Gew. der eingeknet. feuchten Masse} - \text{Gew. d. trock. Scheibe}) \times 100}{\text{Schälchenvolumen}}; \quad (4c)$$

d) Vol.-% Luft = 100 − (Vol.-% feste Substanz + Vol.-% Wasser). (4d)

Die Bestimmung der linearen Schrumpfung ermöglicht die Berechnung des minimalen Porenvolumens aus der Differenz $\left(\text{Volumen geschrumpfter Boden minus } \frac{\text{Masse}}{\text{spez. Gew.}}\right)$.

Minimales Porenvolumen

$$= \frac{100 \left[\frac{(100 - \text{lineare Schrumpfung})^3}{10^4} - \text{Vol.-\% feste Substanz} \right]}{\text{Vol.-\% feste Substanz} \cdot 2{,}6},$$

oder umgeformt:

$$\text{Minimales Porenvolumen} = \frac{(100 - \text{lineare Schrumpfung})^3}{260 \cdot \text{Vol.-\% feste Substanz}} - 38. \quad (5)$$

c) Die Beweglichkeit des Bodenwassers.

Taucht in eine Flüssigkeit eine Kapillare ein, deren Oberfläche von der Flüssigkeit benetzt wird, so findet ein Aufsteigen der Flüssigkeit in der Kapillare statt, und zwar um so höher, je enger die Kapillare ist. Im Boden wirken als Kapillaren die Poren; diese heben das Wasser. Allerdings haben sich im Boden nie die Steighöhen experimentell nachweisen lassen, die man auf Grund der Feinheit der Poren berechnen zu müssen glaubte. Das liegt daran, daß die Poren im Boden völlig unregelmäßig sind und deshalb die Kapillaritätserscheinungen des Bodens durch Rechnung nicht erfaßt werden können.

Nach unserer Auffassung wird die Bewegung des flüssigen Wassers im Boden nur zum geringen Teil durch reine Kapillaritätswirkungen, in der Hauptsache dagegen durch Differenzen des osmotischen Druckes der die Bodenteilchen umhüllenden Wasserschichten beherrscht, die infolge der mit verschiedener Dicke des Schwarmwassers sich ändernden Konzentration der Schwarmionen auftreten.

Bis zu einer gewissen Höhe oberhalb des Grundwassers füllt das Wasser als eigentliches Kapillarwasser die Poren des Bodens vollständig aus. Darüber hinaus sind die Bodenhohlräume nicht nur mit Wasser, sondern zu einem großen Teil mit Luft gefüllt. Außer den

dünnen, von der Oberfläche der Bodenteilchen adsorbierten Wasserhäutchen verbleiben dann noch gürtelförmig um die Berührungspunkte angeordnete Mengen von Wasser im Boden. Stehen diese Wasserringe miteinander in Verbindung, so bezeichnet man sie als funikuläres Wasser; im anderen Falle spricht man von pendulärem Wasser. Schließlich wird ein Punkt erreicht, an dem die Bewegung des Wassers aufhört, weil die Reibungswiderstände und die bewegende osmotische Kraft sich die Waage halten; dieser Punkt wird als lentokapillarer Punkt bezeichnet. Darüber hinaus kann sich das Wasser nur noch bewegen, indem es verdampft und in kleinen Hohlräumen wieder kondensiert wird.

Die Bewegung des flüssigen Wassers im Boden ist im Sinne unserer Auffassung ein zum Teil durch das Auftreten von Kapillarerscheinungen komplizierter osmotischer Vorgang, der durch das osmotische Druckgefälle im System als treibende Kraft einerseits, die Reibung des Wassers auf seinem Wege andererseits beherrscht wird. Die Wasserbewegung in einem solchen System ist also grundsätzlich von der Richtung im Raum unabhängig. Das gilt natürlich nur für den Wassergehalt des Systems, der zwischen dem Gehalt beim lentokapillaren Punkt und der minimalen Wasserkapazität liegt. Ist der Wassergehalt größer als die minimale Wasserkapazität, so unterliegt das Wasser der Schwerkraft, die je nach der Richtung fördernd oder hemmend auf seine Bewegung einwirkt.

Wird einem Boden, dessen Wassergehalt zwischen den genannten Grenzen liegt, an einer Stelle auf irgendeine Weise Wasser entzogen, z. B. durch eine wasseraufnehmende Wurzelspitze mit ihren Saughaaren, so strömt das Wasser dieser Stelle von allen Seiten zu. In welchen Mengen, auf welche Entfernung und mit welcher Geschwindigkeit dies geschieht, muß abhängig sein von dem durch die Austrocknung entstehenden Druckgefälle und von der durch das zuströmende Wasser zu überwindenden Reibung auf seinem Wege längs und zwischen den festen Teilchen, die von der größeren oder geringeren Festigkeit der Packung der festen Substanz abhängig ist.

Jeder Boden muß einen maximalen osmotischen Wirkungsradius für den Bereich der wasserentziehenden Punkte besitzen, jenseits dessen eine Wasserzufuhr in flüssiger Form zum Punkte des Wasserentzuges wegen der zu groß werdenden Reibung nicht mehr stattfindet.

Es liegt nahe, zunächst als das Maß für den Wirkungsradius der osmotischen Kräfte den Abstand zwischen dem Wassergehalt beim lentokapillaren Punkt und dem oberen Ende der kapillaren Wasserzone anzunehmen, der sich ermitteln läßt, wenn man Wasser in einem Boden von unten aufsteigen läßt. Diese Nichtberücksichtigung der kapillaren Wasserzone ist aber unberechtigt. Führt man nämlich z. B. einer in einem Rohr befindlichen Bodensäule nur so viel Wasser zu, daß dieses gerade zur Absättigung der Bodensäule bis zum lentokapillaren Punkt reicht, so entwickelt sich die kapillar gesättigte Zone überhaupt nicht oder nur in ganz geringem Umfange; die Absättigung findet aber nichtsdestoweniger bis zur fast gleichen Höhe der Bodensäule statt, wenn auch langsamer.

Der Beweis dafür, daß die Füllung der Kapillaren im unteren Teil des mit Boden gefüllten Rohrs für die Höhe des Wasseranstieges nahezu, wenn auch nicht ganz, belanglos ist, ist auch dadurch zu erbringen, daß man die Sättigung der Bodensäule nicht direkt von einer freien Wasseroberfläche, sondern unter Zwischenschaltung einer im Verhältnis zum betreffenden Boden schwer durchlässigen Membran erfolgen„ läßt. Dann drehen sich die Verhältnisse nämlich um. Die größeren Kapillaren des unteren Teiles der Steighöhe, die normalerweise das geschlossene Kapillarwasser enthalten sollten, füllen sich in diesem Falle, wenn die Durchlässigkeit der eingeschalteten Zwischenschicht gut gewählt ist, nicht mit Wasser. Zunächst verbreitet sich das Wasser, wenn auch wegen der zusätzlichen Reibung langsamer als bei freiem Zutritt, über praktisch dieselbe Höhe im Steigrohr wie von einer freien Wasserfläche aus. Erst wenn annähernd die maximale Steighöhe erreicht ist. d. h. der Wasserentzug aus den feuchtesten Schichten langsamer erfolgt als die Zufuhr durch die Membran, beginnen ganz allmählich die untersten Kapillaren sich zu füllen.

Als maximaler osmotischer Wirkungsradius ist daher in erster Annäherung der Abstand der bis zum lentokapillaren Punkt gesättigten Schicht des Bodens von der freien Wasserfläche zu betrachten. Über diese Entfernung geht die Wasserzufuhr in flüssiger Form, selbst wenn eine freie Wasseroberfläche zur Verfügung steht, unter dem Einfluß der osmotischen Kräfte des Bodens nicht hinaus.

Was man bei von unten mit Wasser sich sättigenden Böden nach

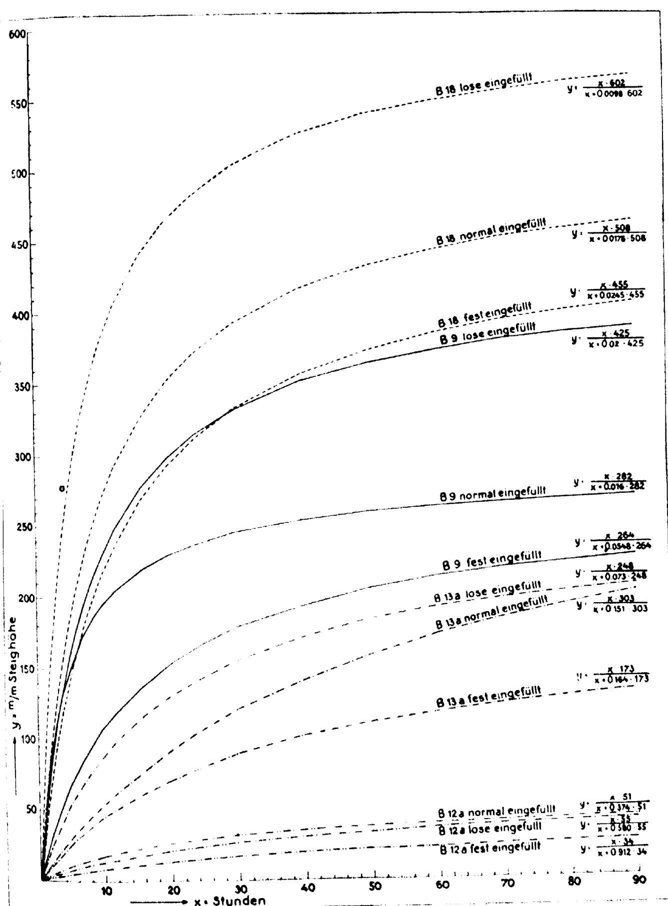


Abb. 10. Zeitlicher Verlauf der Steighöhe bei verschieden dichter Lagerung des Bodens im Steigrohr. — Curves showing differences of capillary rise due to method of packing of the soil in the tube.

Eintritt des Gleichgewichtes als maximale „Steighöhe" abliest, ist ungefähr die gesuchte Strecke. Man liest bei solchen Versuchen die meist mehr oder weniger unscharfe Grenze der Verfärbung der Bodensubstanz durch die Befeuchtung ab. Es ist dies ein Punkt, der etwa der $1^1/_2$fachen bis doppelten Hygroskopizität nach MITSCHERLICH entspricht.

Für die Bestimmung der Endsteighöhe haben wir eine Formel zugrunde gelegt, die nach Untersuchungen des Agrogeologischen Laboratoriums Buitenzorg empirisch aufgestellt worden ist:

$$y = \frac{x \cdot E}{x + q \cdot E}, \qquad (6)$$

worin x die Zeit in Stunden, y die jeweils abgelesene Steighöhe in Millimetern und E der Grenzwert der Steighöhe in Millimetern ist.

Wir konnten bestätigen, daß diese Formel mit praktisch genügender Genauigkeit mit der Beobachtung übereinstimmt, wenn auch nicht unbeträchtliche Abweichungen auftreten. Es wurden mit vier ganz verschiedenen Böden Steighöhenuntersuchungen mit Ablesungen nach je 4, 8, 12, 24, 48 und 72 Stunden gemacht und die E- und q-Wertpaare berechnet. Die erste Reihe dieser Versuche, die in der Tabelle 3 und im Diagramm Abb. 10 wiedergegeben ist, wurde bei einer Festigkeit der Packung des Bodens im Steigrohr gemacht, die man als „normal" bezeichnen kann, weil sie der üblichen Füllungsart des Steigrohres unter leichtem Aufklopfen entspricht.

Differenzen der aus verschiedenen Beobachtungen berechneten Werte E und q zeigten sich besonders bei den q-Werten, die allerdings mit 1000 vervielfältigt sind, so daß die

Tabelle 3a.

Boden Nr.	Füllungsart	Steighöhe in mm nach Stunden					
		4	8	12	24	48	72
		y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6
B_9	normal	150	180	198	225	252	265
	lose	143	184	215	268	321	350
	fest	70	102	126	166	203	215
B_{18}	normal	195	240	276	337	405	450
	lose	192	260	300	358	370	380
	fest	107	167	211	290	395	455
B_{12a}	normal	12	15	18	22	31	40
	lose	5	9	12	20	30	34
	fest	5	7	8	14	21	24
B_{13a}	normal	31	45	59	90	138	185
	lose	56	76	91	120	158	198
	fest	29	38	48	70	100	124

Differenzen 1000fach übertrieben erscheinen. Auch bei den E-Werten sind die Unterschiede groß, solange man sie in Millimetern berechnet. Schon die Ablesung der Steighöhe auf Millimeter kann aber nicht als genau bezeichnet werden, da nur ganz ausnahmsweise das Aufsteigen des Wassers im Boden ganz gleichmäßig erfolgt. Namentlich bei kleinen totalen Steighöhen machen infolgedessen kleine Ablesungsdifferenzen schon recht erhebliche Unterschiede im Endergebnis für E und q aus.

Abweichungen treten hauptsächlich im ersten Teil der Kurve auf, und zwar hauptsächlich bei schweren Böden. Hier wirken die sich unter dem Einfluß der Kapillarkräfte füllenden

Tabelle 3b.

Boden Nr.	Füllungsart	Berechnet aus	Endsteighöhe $x_2\,y_2$	$x_3\,y_3$	$x_4\,y_4$	$x_5\,y_5$	$x_6\,y_6$	1000 q $x_2\,y_2$	$x_3\,y_3$	$x_4\,y_4$	$x_5\,y_5$	$x_6\,y_6$
B 9	normal	$x_1\,y_1$	226	236	251	269	278	8,9	9,7	10,7	11,8	12,3
		$x_2\,y_2$		247	258	274	282		12,0	13,4	15,3	16,0
		$x_3\,y_3$			261	277	285			14,6	17,3	18,5
		$x_4\,y_4$				286	292				22,6	24,4
		$x_5\,y_5$					297					28,8
	lose	$x_1\,y_1$	258	287	325	361	383	12,5	14,0	15,6	16,9	18,0
		$x_2\,y_2$		324	347	380	394		18,7	20,4	22,2	23,1
		$x_3\,y_3$			356	383	400			22,1	24,5	25,8
		$x_4\,y_4$				398	413				29,3	31,5
		$x_5\,y_5$					427					37,4
	fest	$x_1\,y_1$	188	210	229	245	245	35,8	38,0	39,7	40,8	40,8
		$x_2\,y_2$		237	242	253	250		44,6	45,4	47,0	46,5
		$x_3\,y_3$			244	254	251			46,1	48,1	47,5
		$x_4\,y_4$				260	253				52,3	49,5
		$x_5\,y_5$					245					40,3
B 18	normal	$x_1\,y_1$	312	350	394	448	488	7,7	9,1	10,3	11,6	12,3
		$x_2\,y_2$		397	431	469	508		13,2	14,8	16,3	17,6
		$x_3\,y_3$			431	481	515			15,6	18,5	20,2
		$x_4\,y_4$				508	543				24,0	27,2
		$x_5\,y_5$					581					36,0
	lose	$x_1\,y_1$	402	418	417	405	403	10,9	11,5	11,3	11,0	10,9
		$x_2\,y_2$		435	420	405	405		12,4	11,8	11,0	11,0
		$x_3\,y_3$			415	402	402			11,0	10,1	10,1
		$x_4\,y_4$				395	398				8,2	8,6
		$x_5\,y_5$					402					10,1
	fest	$x_1\,y_1$	380	412	441	524	562	26,9	27,7	28,3	29,8	30,3
		$x_2\,y_2$		446	459	543	581		30,0	30,5	33,2	34,2
		$x_3\,y_3$			463	559	592			30,9	35,4	36,6
		$x_4\,y_4$				621	637				44,2	45,1
		$x_5\,y_5$					649					47,5

Tabelle 3b (Fortsetzung).

Boden Nr.	Füllungsart	Berechnet aus	Endsteighöhe $x_2 y_2$	$x_3 y_3$	$x_4 y_4$	$x_5 y_5$	$x_6 y_6$	1000 q $x_2 y_2$	$x_3 y_3$	$x_4 y_4$	$x_5 y_5$	$x_6 y_6$
B 12 a	normal	$x_1 y_1$	20	24	26	36	46	134	167	182	223	246
		$x_2 y_2$		30	29	39	51		266	254	330	374
		$x_3 y_3$			28	41	53			240	370	439
		$x_4 y_4$				52	68				634	740
		$x_5 y_5$					96					1051
	lose	$x_1 y_1$	45	40	50	55	51	712	700	720	728	722
		$x_2 y_2$		36	51	56	52		665	732	747	734
		$x_3 y_3$			60	60	54			799	800	776
		$x_4 y_4$				60	52				802	742
		$x_5 y_5$					46					562
	fest	$x_1 y_1$	12	12	22	29	30	456	456	620	665	672
		$x_2 y_2$		11	28	34	34		432	864	912	912
		$x_3 y_3$			58	45	39			1296	1232	1195
		$x_4 y_4$				40	36				1104	1044
		$x_5 y_5$					33					862
B 13 a	normal	$x_1 y_1$	83	108	147	200	262	84	92	102	109	114
		$x_2 y_2$		159	180	238	303		127	133	144	151
		$x_3 y_3$			189	252	323			139	155	165
		$x_4 y_4$				303	392				187	205
		$x_5 y_5$					555					259
	lose	$x_1 y_1$	118	132	156	186	233	37,6	41,3	45,8	50,3	54,3
		$x_2 y_2$		150	169	202	248		52,1	58,1	65,6	73,6
		$x_3 y_3$			176	210	259			63,8	74,6	85,6
		$x_4 y_4$				231	293				96,0	118
		$x_5 y_5$					402					184
	fest	$x_1 y_1$	55	71	97	129	155	65,3	81,9	96,9	107	112
		$x_2 y_2$		101	121	148	173		132	144	157	164
		$x_3 y_3$			129	156	182			157	173	184
		$x_4 y_4$				175	202				205	224
		$x_5 y_5$					239					279

Kapillaren unterstützend auf die Bewegung der an der Oberfläche der einzelnen Bodenteilchen unter dem Einfluß osmotischer Kräfte aufwärts wandernden Wasserhäutchen und lassen so die Benetzung zeitweise vorauseilen. Im späteren Teile beherrscht aber das Häutchenwasser die Bewegung, weil die kapillaren Menisken ihm wegen der Reibung nicht mehr folgen können. Praktisch sind für die Berechnung der Steiggeschwindigkeit die letzten Teile der Kurve am wichtigsten, weil die geringen Steiggeschwindigkeiten dieses Teiles für die Wasserversorgung der Pflanzen hauptsächlich von Bedeutung sind.

Die Genauigkeit der Bestimmung der Steighöhe wird durch ein weiteres Moment beeinträchtigt. Es ist auch beim sorgfältigsten Arbeiten nicht möglich, die ganze Bodensäule völlig gleichmäßig einzufüllen, und es entstehen daher immer verschieden dicht gelagerte Zonen.

In welcher Weise sich der Einfluß der zufälligen Lagerung äußert, geht aus der Tabelle 4 hervor:

Tabelle 4. Einfluß der Lagerung des Bodens im Steigrohr auf Endsteighöhe und Zeitmodul q.

Boden Nr.	Berechnet aus	Lose eingefüllt		Normal eingefüllt		Fest eingestampft	
		Endsteighöhe	1000 q	Endsteighöhe	1000 q	Endsteighöhe	1000 q
9	$y_5\ y_6$	427	37,4	297	28,8	245	40,3
	$y_1\ y_6$	383	18,0	278	12,3	245	40,8
18	$y_5\ y_6$	402	10,1	581	36,0	649	47,6
	$y_1\ y_6$	403	10,9	488	12,3	562	30,3
12a	$y_5\ y_6$	46	562,0	96	1051,0	33	864,0
	$y_1\ y_6$	51	722,0	46	246,0	30	672,0
13a	$y_5\ y_6$	402	184,0	555	259,0	239	279,0
	$y_1\ y_6$	233	54,3	262	114,0	155	112,0

Die Art des Einfüllens hat bei allen Bodenarten einen Einfluß, der sich, je nachdem es sich um leichten oder schweren Boden handelt, in sehr verschiedener Richtung äußern kann. Nur die Beeinträchtigung der Schnelligkeit der Wasserbewegung durch festes Einstampfen ist, wie die große Zunahme der q-Werte zeigt, deutlich bei allen Böden vorhanden.

Es ergibt sich daraus die Folgerung, daß die ganze Steighöhenbestimmung einen mehr qualitativen Charakter trägt. Diese zugegebene Ungenauigkeit hat schon viele Autoren veranlaßt, die Steighöhenbestimmung überhaupt abzulehnen.

Trotz der ihr anhaftenden Fehler ist sie jedenfalls bisher die einzige Methode, die bei Verwendung genügend langer Ablesungszeiten über die Beweglichkeit des Bodenwassers überhaupt etwas aussagt und auf alle Fälle wenigstens größenordnungsgemäß die Beweglichkeit der Bodenlösung charakterisiert. Bei allen Fehlern bleibt damit ein praktischer Wert der Steighöhenmessung bestehen. Es ist sicherlich besser, einen Fehler von 20% bei der Berechnung der Wasserbeweglichkeit in Kauf zu nehmen, als die Verschiedenheit der Wasserbeweglichkeit der Böden, die, wie die Tabelle 4 zeigt, 500—1000% beträgt, einfach außer Ansatz zu lassen, weil es noch keine Methode zur ganz exakten Erfassung der in Frage stehenden Größe gibt.

Bei aller Anerkennung der Verbesserungsbedürftigkeit der Steighöhenbestimmung, deren Fehlermöglichkeiten die vorstehenden Tabellen zeigen, darf sie daher mit der nötigen Kritik immer noch als eine der wichtigsten physikalischen Bestimmungen der Bodeneigenschaften betrachtet werden.

Eine Bewegung des Wassers als Flüssigkeit findet bis zu der als Endsteighöhe definierten Entfernung statt. Die lebenden Pflanzen brauchen aber nicht nur überhaupt Wasser, sondern eine bestimmte Wassermenge in der Zeiteinheit, um ihre Lebensfunktion erfüllen zu können. Praktisch interessant ist also nicht die maximale Ausdehnung der Wasserbewegung, sondern die Strecke, über welche die Wasserzufuhr zum Entnahmepunkt noch mit ausreichender Geschwindigkeit a erfolgt.

Die Geschwindigkeit der Wasserbewegung läßt sich aus der für die Endsteighöhe aufgestellten Formel dadurch berechnen, daß man den Differentialquotienten des Weges nach der Zeit bildet. Es ist also im gleichen Maß, und zwar zweckmäßig Millimeter je Stunde, zu setzen:

$$\frac{dy}{dx} = a = \frac{q \cdot E^2}{(x + qE)^2},$$

woraus sich der osmotische Radius oder die kritische Schichtdicke wie folgt berechnet:

$$x = E\left(\sqrt{\frac{q}{a}} - q\right)$$

$$y = E\left(1 - \sqrt{aq}\right) \text{ mm.}$$

Es ist das die maximale Bodenschicht, die das Wasser unter dem Einfluß der osmotischen Saugkräfte mit der Geschwindigkeit a je Stunde gerade noch durchdringen kann.

Zur Berechnung der kritischen Schichtdicke, die für eine ungehinderte Entwicklung der Pflanzen notwendig ist, ist der Wasserbedarf der Pflanzen zugrunde zu legen, den wir mit 3600—4800 t je ha im Verlaufe einer Vegetationszeit von 100—150 Tagen angegeben finden. Es muß den Pflanzenwurzeln also pro Stunde im Boden je ha im Mittel rund 1—2 cbm Wasser zur Verfügung stehen, d. h. eine Schicht von 0,1—0,2 mm Wasser je ha muß sich nach den Wurzeln bewegen. Als ausnutzbar ist der verfügbare Wasserinhalt einer so dicken Boden-

schicht anzusehen, daß sie den stündlichen Durchtritt einer Wasserschicht von 0,1—0,2 mm gestattet. Nimmt man an, daß das Porenvolumen 50% beträgt, so ist die Bodenschicht, durch welche sich das Wasser bewegen muß, 0,2—0,4 mm dick. Als praktisch nutzbar erscheint also eine Bodenschicht von der Dicke, daß das Wasser sie mit einer Geschwindigkeit von 0,2—0,4 mm noch durchdringt. Wenn wir den Wert $a = 0{,}2$ mm in die Gleichung für die kritische Schichtdicke einsetzen, ergibt sich dann als Maximalwert

$$Kr = E \cdot (1 - 0{,}447 \cdot \sqrt{q}) . \qquad (7)$$

Setzen wir für den Bedarf von Pflanzenbeständen in voller Vegetation $a = 1{,}0$ mm, so berechnet sich $Kr = E(1 - \sqrt{q})$ als Minimalwert der kritischen Schichtdicke. Da die Wasserbewegung unter dem Einfluß der osmotischen Kräfte von der Richtung im Raum unabhängig ist, das Wasser den Wurzeln also von oben wie von unten zuströmt, ist in einer Bodenschicht für die Wurzeln eines geschlossenen Feldbestandes eine doppelt so große Wassermenge für die Aufnahme verfügbar, als sich im Raume der kritischen Schichtdicke befindet.

Einen Einfluß auf die kritische Schichtdicke übt der Gehalt des Bodenwassers an Salzen aus. Stehen die Salze der in den Boden eintretenden Lösung ihrem Ionenverhältnis nach mit den Komplexen im Gleichgewicht, so muß jede Konzentrationszunahme der Lösung die Beweglichkeit des Wassers im Boden, also Steighöhe und kritische Schichtdicke erhöhen. Da nämlich in der Grenzschicht zwischen dem Schwarmwasser und der beweglichen Lösung osmotisches Gleichgewicht herrschen muß, wird, wenn durch Konzentrationszunahme der Lösung ihr osmotischer Druck gesteigert wird, eine Dehydratation der festen Teilchen bewirkt. Eine Reduktion der Wasserhülle der Teilchen aber ist gleichbedeutend mit einer Verringerung der Reibungswiderstände im Boden. Stark mit Salz durchtränkter Boden weist daher stets eine große Krümeligkeit und eine dadurch bedingte große Wasserbeweglichkeit auf.

Steht die zutretende Lösung mit den Komplexen nicht im Gleichgewicht, so tritt sofort ein Kationenaustausch ein, und es muß dementsprechend von der Kationenart und ihrer Konzentration abhängen, ob sich die Wasserbeweglichkeit im System verringert oder erhöht.

Ersteres wird beim Eintausch die Hydratationshülle der festen Teilchen vermehrender, stark hydratisierter Kationen wie Na, letzteres bei Einführung schwach hydratisierter Kationen wie K, Ca usw. der Fall sein, immer modifiziert durch den Einfluß der Konzentration.

d) Berechnung des Wasserhaushalts des Bodens.

Die Kenntnis der Beziehungen zwischen der chemischen Zusammensetzung eines Bodens und seinem Wasserhaushalt ermöglicht es, seine Fähigkeit, während der Zeit der Trockenheit Wasser aufzuspeichern und der wachsenden Pflanze zur Verfügung zu stellen, wenigstens überschlägig zu berechnen. Für das Pflanzenwachstum ist nicht nur die Wassermenge wichtig, die ein Boden überhaupt aufnehmen kann, sondern noch mehr diejenige, die dauernd auch nach Aufhören der Niederschläge und Abfluß des Sickerwassers im Boden verbleibt. Wir bezeichnen diese Wassermenge als „im Boden mögliches Wasser". Für die Bestimmung dieser Größe kommt zunächst die minimale Wasserkapazität des Bodens in Betracht, die wir als die Wassermenge definiert hatten, die unabhängig von der Lagerung der Teilchen, entgegen dem Einflusse der Schwere, durch Molekularkräfte festgehalten wird. Diese Menge kann ein Boden aber nur dann enthalten, wenn sein Porenvolumen im trockenen Zustande bei festester Lagerung gleich groß oder größer als die minimale Wasserkapazität ist.

Bei leichten Böden kann bei starker Wasserzufuhr sogar vorübergehend im Boden mehr Wasser vorhanden sein, als der minimalen Wasserkapazität, die den Dauerzustand darstellt, entspricht.

Anders ist dies bei fein dispersen Böden. Diese quellen bei der Adsorption von Wasser auf, wenn die Volumenzunahme durch die Anlagerung des Wassers größer ist als die im Boden vorhandenen Hohlräume. Steht ein solcher Boden nun z. B. in tieferen Schichten unter Druck, so kann die Quellung nicht oder nur unvollständig eintreten, es kann also je nach der Stärke des Druckes von dem Boden nicht mehr die ganze Wassermenge aufgenommen werden, die der minimalen Wasserkapazität entspricht, sondern nur ein von dem Druck, unter dem der Boden steht, abhängiger Teil.

Bezogen auf 100 g Boden berechnet sich in diesem Falle das mögliche Wasser zu

$$W_m = C_{min} - k(C_{min} - P_{min}), \qquad (8a)$$

worin C_{min} die minimale Wasserkapazität, P_{min} das minimale Porenvolumen ist.

Der Faktor k erreicht bei Mineralböden bei einer Tiefe von etwa 150 cm den Betrag 1, während er an der Oberfläche des Bodens 0 ist. Zwischen diesen Abständen verläuft er nach der empirischen Formel:

$$k = \frac{300\,x - x^2}{22\,500}, \qquad (8\text{b})$$

worin x der Abstand der Mittellage der betreffenden Schicht von der Oberfläche in Zentimetern ist.

Die Umrechnung von W_m je 100 g Boden auf das je Zentimeter Bodenschicht mögliche Wasser in Kubikmeter je ha geschieht wie folgt: Nimmt man an, daß die festen Bodenteilchen ein spezifisches Gewicht von 2,6 haben, so nehmen die in 100 g trockenem Boden enthaltenen festen Teilchen ein Volumen von $\frac{100}{2{,}6} = 38$ ccm ein. Die auf 100 g trockenen Boden gefundene Menge mögliches Wasser W_m hat ein Volumen von W_m ccm. Der mit Wasser gesättigte Boden enthält also, sofern die minimale Wasserkapazität dem minimalen Porenvolumen gleichgesetzt werden kann, je Kubikzentimeter feuchter Boden ein Volumen von

$$\frac{W_m}{38 + W_m} \text{ ccm Wasser.}$$

Die Schicht von 1 cm Boden je ha entspricht 100 cbm, sie enthält mithin

$$\frac{100 \cdot W_m}{38 + W_m} \text{ cbm/ha mögliches Wasser.} \qquad (9)$$

Nicht alles Wasser, welches ein Boden enthält, kann von der Pflanze aufgenommen werden. Verloren geht zunächst das Wasser, welches von der Oberfläche des Bodens verdunstet. Außerdem ist aber, wenn wir von der Verdunstung absehen, das Wasser unzugänglich für die Pflanze, das als Schwarmwasser oder Salzlösung einen höheren osmotischen Druck aufweist, als die Pflanzenwurzeln zuzüglich des für die Aufnahme notwendigen Druckgefälles besitzen.

Es ist dies das tote Bodenwasser, das wir oben als Funktion der Kationenbelegung berechnet hatten. Als statisch aufnehmbar in einem

Bodenprofil ergibt sich die Differenz zwischen dem möglichen Wasser und dem toten Wasser:

$$\% \text{ stat. Wasser} = W_m - \text{totes Wasser.} \qquad (10)$$

Je 100 g Boden ist das statische Wasser $= W_m$ — totes Wasser. Die Umrechnung auf das statisch verfügbare Wasser in cbm/ha und Schicht von 1 cm geschieht auf Grund der Proportion:

$$\frac{\text{Stat. Wasser je 100 g}}{\text{Mögl. Wasser je 100 g}} = \frac{\text{Stat. Wasser je Schicht von 1 cm/ha}}{\text{Mögl. Wasser je Schicht von 1 cm/ha}},$$

Stat. Wasser je Schicht von 1 cm und 1 ha

$$St_w = \frac{\text{Stat. Wasser je 100 g}}{\text{Mögl. Wasser je 100 g}} \cdot \text{Mögl. Wasser je Schicht von 1 cm u. ha.} \qquad (11)$$

Das statisch verfügbare Wasser würde, abgesehen von Verdunstungsverlusten, der Pflanze zur Verfügung stehen, wenn die Pflanzenwurzeln gleichmäßig den ganzen Boden durchdringen würden. Diese Voraussetzung ist aber nicht erfüllt. Um den für das Wachstum notwendigen Transpirationsstrom aufrechtzuerhalten, muß das Wasser den Wurzeln mit einer gewissen Mindestgeschwindigkeit zuströmen. Als dynamisch verfügbar können wir daher nur den Teil des Wassers betrachten, der innerhalb des Bereiches der doppelten Schichtdicke sich befindet:

$$W_{dyn} = 2\, Kr\, St_w \text{ cbm je ha.} \qquad (12)$$

Ist die Schichtdicke des den Pflanzenwurzeln tatsächlich zur Verfügung stehenden Bodens kleiner als die doppelte kritische Schichtdicke, so wird

$$W_{dyn} = \text{Schichtdicke } St_w\,,$$

d. h. das statisch verfügbare Wasser ist auch dynamisch nutzbar.

Zur Berücksichtigung der Verdunstung ist schließlich von dem dynamisch verfügbaren Wasser ein den örtlichen Verhältnissen entsprechend großer Betrag abzusetzen.

e) Der Ionenaustausch der Bodenkolloide.

Die Wassermoleküle, die in die Wirkungssphäre eines Bodenteilchens von kolloidaler Größenordnung gelangen und von ihm angezogen werden, können Kationen des von diesem adsorbierten Ionenschwarmes herausstoßen. Die Adsorptionsverbindungen von Kolloidteilchen und

Ionen können also durch das Wasser zersetzt, hydrolysiert werden. Der Grad, bis zu dem dies erfolgt, hängt von dem Mengenverhältnis ab, in dem adsorbierte Kationen und Wasser vorhanden sind. Ist die flüssige Phase, wie es im Boden stets der Fall ist, kein reines Wasser, sondern eine Salzlösung, so können auch die Kationen der Lösung

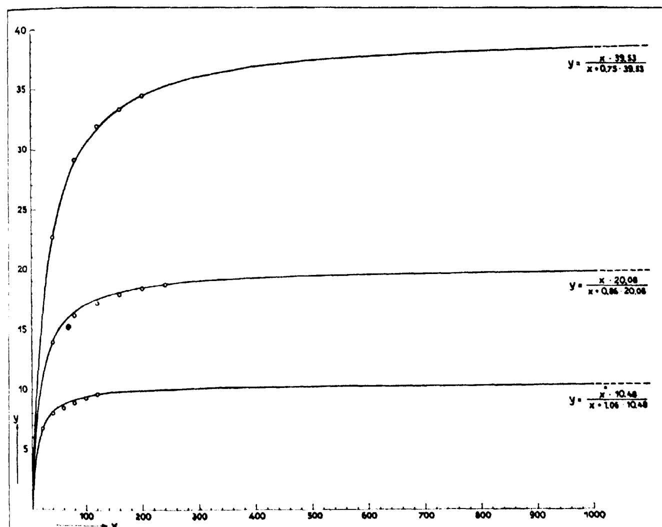


Abb. 11. Verlauf des Basenumtausches gegen NH_4 bei Böden verschiedener Sorptionskapazität (berechnet nach der Gleichung $y = \frac{x \cdot S}{x + q \cdot S}$).
Base exchange with NH_4 in soils of different absorptive capacity.

Kationen aus dem Schwarm herausstoßen, um an ihrer Stelle in den Schwarm zu treten. Im Gleichgewichtszustande erfolgt dieser Kationenwechsel nach beiden Richtungen hin im gleichen Ausmaß, so daß sich im Mittel eine stabile Zusammensetzung sowohl des Schwarmes wie der Lösung ergibt.

Wirkt auf einen Adsorptionskomplex eine Lösung ein, die nur kleine Konzentrationen eines zum Eintausch fähigen Ions enthält, so

erfolgt dessen Anlagerung fast quantitativ, so daß die Kurve, welche die Austauschadsorption bei Einwirkung steigender Mengen eines gelösten Ions zeigt, am Anfang eine gerade, im Winkel von 45° gegen die Abzisse geneigte Linie ist. Bei Anwendung größerer Mengen des eintauschenden Ions wird der Eintausch allmählich schwieriger und daher unvollständig. Schließlich muß ein Grenzwert erreicht werden, da der Adsorptionskomplex nicht mehr anlagern kann als seiner Sorptionskapazität entspricht. Dieser Grenzwert wird asymptotisch, also erst bei Einwirkung unendlich großer Mengen erreicht.

Beide Bedingungen — gradliniger Anstieg am Anfang und asymptotisches Erreichen eines Grenzwertes —, welche die Abhängigkeit der Austauschadsorption von der Menge des einwirkenden Ions kennzeichnen, erfüllt die von VAGELER aufgestellte Hyperbelgleichung:

$$y = \frac{x \cdot S}{x + qS}, \tag{13}$$

in welcher x die Menge des eintauschenden Ions in Millival, y die des ausgetauschten Ions in Millival, S der Gehalt des Komplexes an adsorbierten Basen in Millival und q eine Konstante ist. Da ohne Zufügung des betrachteten Ions kein Austausch stattfindet, muß die Kurve stets den Nullpunkt passieren, d. h. mit x auch y = Null werden (Abb. 11).

Ausschlaggebend für die Form der Kurve ist der Faktor q, der ein Ausdruck der elektrischen Feldstärken und der Hydratationsverhältnisse der beteiligten Ionen ist.

Das Gleichgewicht zwischen Lösung und absorbierenden Bodenteilchen ist in erster Linie nur von der Menge des einwirkenden Kations, aber nicht von der Konzentration, in der es in der einwirkenden Lösung enthalten ist, abhängig. Es ist also gleichgültig, ob sich die Menge x des eintauschenden Ions stark konzentriert in geringen oder sehr verdünnt in großen Mengen Bodenlösung vorfindet. Der Grund dafür ist in der Trägheit der Kolloidteilchen zu suchen, welche diese daran hindert, sich aktiv am Erreichen des Gleichgewichtes zu beteiligen.

Indirekt übt freilich die Konzentration doch einen gewissen Einfluß aus. Eine Zunahme der Konzentration der Lösung bedeutet nämlich eine Abnahme der Hydratation der Ionen und damit eine Zunahme ihrer

Feldstärke. Es ist daher nicht angebracht, bei der experimentellen Nachprüfung dieser Formel so vorzugehen, daß man bei gleicher Flüssigkeitsmenge den Gehalt an dem zu untersuchenden Ion erhöht. Um zu einer grundsätzlichen Klärung der Adsorptionsregeln zu kommen, ist es vielmehr vorzuziehen, mit Ionen in Lösung von stets gleicher Konzentration zu arbeiten und die erhöhten Mengen x des einwirkenden Ions in Form einer größeren Menge der einwirkenden Lösung zuzuführen. Auch dabei treten zwar Störungen durch das aus dem Adsorptionskomplex verdrängte Kation auf, welches in die Lösung eintritt; diese Störungen entsprechen jedoch den natürlichen Bedingungen des Bodens.

Der steigende Zusatz von Flüssigkeitsmengen ist ferner nicht belanglos wegen der dadurch bedingten Zunahme der Hydrolyse. Die berechneten S-Werte werden daher stets zu klein sein, da bei Zuführung der größeren Lösungsmenge der Adsorptionskomplex hydrolytisch dissoziiert. Nur mit Ionen, deren Verbindungen wenig dissoziieren, lassen sich auf diese Weise S-Werte mit ausreichender Annäherung bestimmen.

Bei der Bestimmung der Summe S der sorptiv gebundenen Basen und des Sorptionsmoduls q_S und der einzelnen sorptiv gebundenen Basen Na, K, Mg und Ca und ihrer zugehörigen Modulen q ist das Verhältnis der zwei zur Bestimmung des Gesamtkurvenverlaufes nach der Gleichung

$$y = \frac{x \cdot S}{x + q \cdot S}$$

nötigen Bestimmungspunkte x_1 und x_2 für alle Fälle ausreichend und am praktischsten bei der Berechnung, wenn man $x_2 = 2\,x_1$ wählt. Bei Böden mit großen S-Werten soll die einwirkende Kationenmenge $x_1 = 100$ und $x_2 = 200$ Milliäquivalent NH_4 und bei Böden mit mittleren und kleinen S-Werten $x_1 = 50$ und $x_2 = 100$ Milliäquivalent NH_4 auf 100 g Bodentrockensubstanz betragen. Es ist am zweckmäßigsten, mit $^n/_5$- bzw. $^n/_{10}$-NH_4Cl-Lösung zu arbeiten.

Als anzuwendende NH_4Cl-Menge auf 100 g Bodentrockensubstanz ergibt sich dann für Tonböden:

$x_1 = 500$ ccm $^n/_5$-NH_4Cl-Lösung = 100 Milliäquivalent NH_4
$x_2 = 1000$ „ $^n/_5$-NH_4Cl-Lösung = 200 „ NH_4

und für Lehm- und Sandböden

$x_1 = 500$ ccm $^n/_{10}$-NH_4Cl-Lösung = 50 Milliäquivalent NH_4
$x_2 = 1000$ „ $^n/_{10}$-NH_4Cl-Lösung = 100 „ NH_4

Je 100 g Bodentrockensubstanz werden mit 500 bzw. 1000 ccm einer NH_4Cl-Lösung geeigneter Konzentration 2 Stunden geschüttelt. Die Konzentration der NH_4Cl-Lösung ist durch Einstellung gegen Formaldehyd vorher zu prüfen. Dann wird durch ein geeignetes Filter völlig klar abfiltriert.

Bestimmung des S. Von den beiden Filtraten werden im Falle von $^n/_5$-NH_4Cl-Lösung je 25 ccm und im Falle von $^n/_{10}$-NH_4Cl-Lösung je 50 ccm zur S-Bestimmung pipettiert. Die erhaltene Lösung ist, je nachdem es sich um alkalische oder saure Böden handelt, alkalisch oder sauer. Sie wird im ersteren Falle mit $^n/_{10}$-HCl gegen Bromthymolblau als Indikator genau neutralisiert. Ist die erhaltene Lösung sauer, so wird diese nicht neutralisiert, sondern direkt für die Titration verwendet.

Man fügt zu der pipettierten Lösung 10 ccm gegen Bromthymolblau genau neutralisiertes Formaldehyd hinzu und titriert mit $^n/_{10}$-NaOH unter Verwendung von Phenolphthalein als Indikator. Die beiden Indikatorfarben stören sich nicht.

Aus den beiden Titrationswerten berechnet sich bei Verwendung von $^n/_5$-NH_4Cl-Lösung:

$$y_{1S} = 2\,(50 - \text{ccm}\ ^n/_{10}\text{-NaOH})$$
$$y_{2S} = 4\,(50 - \text{ccm}\ ^n/_{10}\text{-NaOH})$$

und bei Verwendung von $^n/_{10}$-NH_4Cl-Lösung:

$$y_{1S} = 50 - \text{ccm}\ ^n/_{10}\text{-NaOH}$$
$$y_{2S} = 2\,(50 - \text{ccm}\ ^n/_{10}\text{-NaOH})$$

Aus y_{1S} und y_{2S} erhält man durch Rechnung den Grenzwert S und den Modul q_S.

In 150 bzw. 300 ccm des Filtrates der Chlorammoniumausschüttelungen werden das sorptiv gebundene Na, K, Mg bestimmt. Das sorptiv gebundene Ca wird aus der Differenz berechnet.

Zu beachten ist, daß die für die Basen Na, K und Mg ermittelten Milliäquivalentzahlen Werte darstellen, die um die wasserlöslichen Milliäquivalente zu vermindern sind, um zu den wahren Werten y_1 und y_2 zu kommen, die der Berechnung der Grenzwerte Na, K und Mg und ihrer zugehörigen q-Werte zugrunde zu legen sind; z. B.

y_{1K} = im ersten NH_4Cl-Auszug gefundene Milliäquivalent minus Milliäquivalent wasserlösliches K;

y_{2K} = im zweiten NH_4Cl-Auszug gefundene Milliäquivalent minus Milliäquivalent wasserlösliches K.

Die Berechnung der Grenzwerte des Na, K und Mg und ihrer Moduln q erfolgt analog der Berechnung des S.

Für Ca in sorptiver Bindung gilt:

$$\text{Ca} = S - (\text{Na} + \text{K} + \text{Mg}).$$

Natürlich kann das Ca auch direkt analytisch bestimmt werden.

Zur *Bestimmung der Summe* H + Al werden je 50 g Bodentrockensubstanz mit 125 bzw. 250 ccm Normal-Natriumazetatlösung 2 Stunden geschüttelt. Von der abfiltrierten Lösung werden 25 bzw. 50 ccm entsprechend 10 g Bodentrockensubstanz mit $^n/_{10}$-NaOH titriert. Die Berechnung gestaltet sich wie folgt:

$$y_{1(H+Al)} = \text{ccm}\ ^n/_{10}\text{-NaOH} + \text{Milliäquivalent wasserlösliche Karbonate},$$
$$y_{2(H+Al)} = \text{ccm}\ ^n/_{10}\text{-NaOH} + \text{Milliäquivalent wasserlösliche Karbonate},$$

woraus sich der Grenzwert (H + Al) nach den obigen Gleichungen ergibt, analog den Berechnungen der Basensumme S.

Bei allen Böden mit einer Reaktion unter 6 p_H ist die Anwesenheit von Al möglich; unterhalb 5,5 p_H in wäßriger Ausschüttelung ist sie mit Sicherheit zu erwarten.

Das praktische Vorgehen für die Al-Titration ist dasselbe, wie es soeben für die Bestimmung der Summe (H + Al) angegeben ist, mit dem Unterschiede, daß an Stelle des Azetates n-KCl-Lösung verwendet wird. Aus der Differenz (H + Al) — Al ergibt sich der Grenzwert der Restazidität, also der Gehalt an Azidoiden bzw. H.

Die ***Bestimmung der totalen Sorption** T.* Die totale Sorption T ergibt sich aus der Summe von S, H und Al:

$$T = S + H + Al.$$

Der Quotient $\frac{S}{T}$ multipliziert mit 100 ergibt den HISSINKschen Sättigungsgrad V.

$$V = \frac{S}{T} \cdot 100.$$

Eines der gegen die VAGELERsche Adsorptionsformel ins Feld geführten Argumente ist die unbestreitbare Tatsache, daß man bei der Berechnung des Endwertes S aus je zwei analytisch festgestellten Werten y_1 und y_2 der Sorptionskurve, wenn man eine ganze Reihe solcher Werte nebeneinander bestimmt, rechnerisch niemals auf genau den gleichen Endwert S kommt. Das gilt ganz besonders dann, wenn die analytisch zu bestimmenden Mengen Kation klein sind, so daß sich die analytischen Fehler stark bemerkbar machen, weil sie prozentisch einen beträchtlichen Anteil am Analysenwert bilden.

Tabelle 5.

B 4. 100 g Bodentrockensubstanz.

$x_1 = 20$, $x_2 = 40$, $x_3 = 60$, $x_4 = 80$, $x_5 = 100$, $x_6 = 120$ Milliäqu. NH_4 ($^n/_{10}$-NH_4Cl-Lösung).

y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6
6,74	8,00	8,46	8,88	9,30	9,60

	S						q_S				
Berechnet aus	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	Berechnet aus	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6
y_1	9,84	9,70	9,93	10,28	10,48	y_1	0,94	0,91	0,95	1,02	1,06
y_2		9,56	9,98	10,44	10,66	y_2		0,82	0,99	1,17	1,25
y_3			10,46	10,93	11,09	y_3			1,28	1,60	1,68
y_4				11,47	11,44	y_4				2,03	2,02
y_5					11,40	y_5					2,00

B 9. 100 g Bodentrockensubstanz.

$x_1 = 40$, $x_2 = 80$, $x_3 = 120$, $x_4 = 160$, $x_5 = 200$, $x_6 = 240$ Milliäqu. NH_4 ($^n/_5$-NH_4Cl-Lösung).

y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6
13,96	16,16	17,16	17,92	18,40	18,72

	S						q_S				
Berechnet aus	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	Berechnet aus	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6
y_1	19,23	19,34	19,76	20,00	20,08	y_1	0,78	0,80	0,83	0,86	0,86
y_2		19,42	20,04	20,24	20,32	y_2		0,82	0,94	0,98	1,00
y_3			20,70	20,70	20,62	y_3			1,20	1,20	1,18
y_4				20,70	20,58	y_4				1,20	1,15
y_5					20,45	y_5					1,08

D. 100 g Bodentrockensubstanz.

$x_1 = 40$, $x_2 = 80$, $x_3 = 120$, $x_4 = 160$, $x_5 = 200$ Milliäqu. NH_4 ($^n/_5$-NH_4Cl-Lösung).

y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
22,68	29,12	31,92	33,28	34,40

S					q_S				
Berechnet aus	y_2	y_3	y_4	y_5	Berechnet aus	y_2	y_3	y_4	y_5
y_1	40,48	40,00	39,37	39,53	y_1	0,78	0,76	0,75	0,75
y_2		39,53	38,91	39,22	y_2		0,72	0,69	0,71
y_3			38,31	39,00	y_3			0,63	0,68
y_4				39,68	y_4				0,77

Tabelle 5 gibt eine Reihe aus je 6 Einzelanalysen berechneter S- und q-Werte wieder. Bei allen berechneten S-Werten ist, soweit der x_1-Wert, d. h. die kleinste bei der Analyse angewandte Menge des einwirkenden Kations, genügend groß im Verhältnis zum S-Wert des Bodens ist, bei der $^n/_5$-NH_4Cl-Lösung von einer praktischen Differenz der Endwerte S überhaupt keine Rede. Die Differenzen sind bei Berechnung aus verschiedenen Wertpaaren so gering, daß sie praktisch ohne Bedeutung sind und in den Bereich der unvermeidlichen Analysenfehler fallen.

Wie es unter Berücksichtigung der stärkeren Hydratation und Hydrolyse der Substanz von vornherein zu erwarten war, ist bei Verwendung von $^n/_{10}$-NH_4Cl die Übereinstimmung nicht ganz so gut wie bei $^n/_5$-NH_4Cl, aber auch die so ermittelten Werte sind praktisch noch ausreichend genau.

Damit ist wohl der obenerwähnte Einwand widerlegt. Um den Einwand, daß verschiedene Böden sich verschieden verhalten, auszuschließen, sind ganz verschiedene Bodentypen für die Kontrolluntersuchung gewählt.

Der Einfluß unvermeidlicher Analysenfehler auf die Berechnungsdaten von S und q bei der chemischen Analyse ist bei großen Absolutwerten der Gehalte gering, er muß sich aber im Bereiche kleiner Gehalte ganz unverhältnismäßig verschärfen. Es lag daher nahe, die Frage besonders zu prüfen, ob sich solche unvermeidlichen Analysenfehler, sobald sie prozentisch an den Werten gemessen ins Gewicht fallen, vielleicht auch auf die festgestellten gesetzmäßigen Beziehungen der S- und q-Werte auswirken und möglicherweise eine Verschiedenheit im Verhalten der einzelnen Kationen vortäuschen, die tatsächlich nicht besteht oder doch für praktische Zwecke zu vernachlässigen ist.

Die Werte von q müssen sich für die einzelnen Kationen mit den herrschenden Bedingungen ändern. Ein Kation, welches durch ein einwirkendes anderes Kation aus dem Sorptionskomplex verdrängt werden soll, wird um so schwieriger austauschen, in je geringerer relativer Menge es in dem aus einem Gemisch verschiedener Kationen zusammengesetzten Komplexe vorhanden ist. Um so geringer ist nämlich die Wahrscheinlichkeit, daß gerade das Kation, dessen kleine

Menge durch den Überschuß der anderen im Komplex enthaltenen Kationen verdeckt wird, durch das einwirkende Ion aus seiner Stellung verdrängt wird. Der Wert von q für das betreffende Kation wird sich also unter sonst gleichen Umständen vergrößern, wenn das betreffende Kation an der Zusammensetzung von S nur in geringer Menge beteiligt ist.

Um die Abhängigkeit der q-Werte von dem prozentischen Anteil des betreffenden Ions an dem Gesamtkomplex zu untersuchen, bestimmten wir, welche NH_4-Mengen durch K-Ion aus Ammoniumpermutiten von gleichem S-Wert, aber verschiedenem Anteile des NH_4 an der Gesamtmenge S der adsorbierten Kationen ausgetauscht wurden. Diese NH_4-Permutite wurden durch Einwirkung verschiedener Mengen von NH_4-Ionen auf Permutit hergestellt.

Tabelle 6.

Behandlung des Permutits	y_1	y_2	NH_4 berechnet	q	Durch Destillation gefundenes NH_4	% NH_4* am Komplex
I. $^n/_1$-KCl, 45 Minuten geschüttelt						
100 Milliäquivalent NH_4	48,0	61,5	85,5	4,57	85,2	26,1
250 „ „	90,5	113,5	152,2	2,24	161,7	46,5
500 „ „	117,0	145,0	190,5	1,65	207,5	58,4
1000 „ „	143,0	178,0	235,3	1,30	260,7	71,9
2000 „ „	164,0	203,5	268,8	1,19	302,0	82,2
Reiner NH_4-Permutit . .	194,5	244,0	326,8	1,04	372,0	100,0
II. $^n/_5$-KCl, 45 Minuten geschüttelt						
100 Milliäquivalent NH_4	49,5	63,0	86,5	4,33	85,2	25,8
250 „ „	93,0	116,5	156,0	2,17	161,7	46,4
500 „ „	120,0	148,5	194,9	1,60	207,5	58,0
1000 „ „	146,0	181,5	239,8	1,34	260,7	71,4
2000 „ „	165,5	207,0	276,2	1,21	302,0	82,1
Reiner NH_4-Permutit . .	197,0	248,0	335,6	1,05	372,0	100,0
III. $^n/_5$-KCl, 16 Stunden geschüttelt						
100 Milliäquivalent NH_4	49,5	63,0	86,5	(4,33)	85,2	25,9
250 „ „	92,5	117,0	159,0	2,26	161,7	47,2
500 „ „	121,0	151,0	200,8	1,64	207,5	59,6
1000 „ „	147,5	184,0	245,1	1,35	260,7	72,7
2000 „ „	167,5	210,0	281,7	1,21	302,0	83,7
Reiner NH_4-Permutit . .	201,0	252,0	336,7	1,00	372,0	100,0

Die in Tabelle 6 angegebenen berechneten NH_4-Werte sind nach folgender Funktionskurve von q berechnet, worin Z den prozentischen Anteil des betreffenden Kations von S bezeichnet:

$$q = 1{,}1\left(\frac{100}{Z} - 1\right) + 1{,}00.$$

Der Umtausch von NH_4 gegen K stellt insofern einen Sonderfall dar, als hier q wegen der sehr ähnlichen Umtauschwirkung von K und NH_4 = 1 ist. Für zweiwertige Ionen zeigt die Funktionskurve einen etwas anderen Verlauf:

$$q = \left(\frac{100}{Z} - 1\right)^{1,1} + 0,59.$$

Diese Kurve wurde bestätigt durch Untersuchungen an einem Ammoniumpermutit, der mit $BaCl_2$ behandelt wurde (Tabelle 7).

Tabelle 7.

Vorbehandelt mit:	y_1	y_2	T berechnet	q	T gefunden	% NH_4
$^n/_5$-$BaCl_2$, 45 Minuten geschüttelt: x_1 = 500, x_2 = 1000						
100 Milliäquivalent NH_4	38,0	47,0	61,5	5,03	85,2	21,2
250 ,, ,,	81,5	96,5	118,3	1,91	161,7	40,7
500 ,, ,,	112,0	129,5	153,6	1,21	207,5	53,0
1000 ,, ,,	138,0	160,0	190,5	1,00	260,7	62,0
2000 ,, ,,	163,5	188,0	221,2	0,80	302,0	76,4
Reiner NH_4-Permutit . .	214,0	246,0	289,8	0,61	372,0	100,0
$^n/_5$-$BaCl_2$, 16 Stunden geschüttelt: T extrapoliert für 100 NH_4						
			66,0	4,61	85,2	22,0
250 Milliäquivalent NH_4	84,5	100,5	123,9	1,88	161,7	41,6
500 ,, ,,	115,0	135,0	163,1	1,28	207,5	54,7
1000 ,, ,,	144,0	168,0	201,6	0,99	260,7	67,9
2000 ,, ,,	170,5	197,5	234,7	0,80	302,0	79,8
Reiner NH_4-Permutit . .	220,0	253,0	297,6	0,59	372,0	100,0

Das Auffallende an der Gleichung für q ist die entschiedene Annäherung der Multiplikationsfaktoren bzw. Exponenten an die Einheit, so daß $q \simeq \frac{100}{Z}$ bzw. $q \cdot Z \sim$ konstant gesetzt werden kann. Es lag nahe anzunehmen, daß für ein gegebenes System auch $q \cdot S \sim$ konstant gesetzt werden könnte, daß also bei verschiedener Sättigung des Systems die q-Werte des Basenaustauschs sich der Sättigung umgekehrt proportional ändern.

Aus dieser Möglichkeit ergeben sich eine Reihe weiterer wichtiger Schlußfolgerungen. Aus den Untersuchungen von JENNY, VAGELER und WOLTERSDORF u. a. zeigte sich, daß die Unterschiede der S-Werte der verschiedenen Kationen gegenüber dem gleichen sorbierenden Material sich nur bei sehr geringen Konzentrationen der einwirkenden Lösungen, also weitgehender Hydratation der Ionen und damit auch nur bei den Kationen mit sehr geringem Durchmesser, wie Li und Na,

deutlich bemerkbar machen. Bei höheren Konzentrationen verwischen sich die bei größerer Verdünnung sehr ausgeprägten individuellen Verschiedenheiten der Kationen hinsichtlich ihrer Eintauschenergie und Haftfestigkeit so weitgehend, daß die unter solchen Umständen ermittelten S-Werte sich praktisch decken. Die q-Werte nähern sich einander ebenfalls stark, offenbar weil der Einfluß der Wasserdipole bei größerer Konzentration weitgehend wegfällt und das elektrokinetische Potential der dehydratisierten Kationen merklich gleich wird. Das heißt aber, daß bei starken Konzentrationen der Lösung oder beim Austausch gegen wenig hydratisierte Kationen wie NH_4 und H sämtliche gebundenen Kationen sich praktisch gleich verhalten müssen, wenn auch geringe individuelle Unterschiede von nur theoretisch wichtigem Ausmaße bestehen bleiben.

Anders ausgedrückt bedeutet das die Forderung:

$$1. \quad q_S \cdot S \simeq q_K \cdot K \simeq q_{Na} \cdot Na \simeq q_{Ca} \cdot Ca \cong q_{Mg} \cdot Mg. \qquad (14)$$

Wie die nachstehende, Böden der verschiedensten Herkunft umfassende Tabelle 8 zeigt, ist die Forderung für die zweiwertigen Ionen mit sehr großer Annäherung erfüllt,

$\frac{q_{Mg} \cdot Mg}{q_S \cdot S}$ sowie $\frac{q_{Ca} \cdot Ca}{q_S \cdot S}$ weichen mit 1,2 bzw. 0,9 wenig von 1 ab.

Bei den einwertigen Kationen Na und K ist die Abweichung dagegen sehr groß. Im Mittel beträgt der

$$\text{Quotient } \frac{q_K \cdot K}{q_S \cdot S} = 2{,}9, \quad \text{der Quotient } \frac{q_{Na} \cdot Na}{q_S \cdot S} = 2{,}9.$$

Dieser Befund könnte zur Annahme führen, daß die Bindungsfestigkeit der einwertigen Kationen eine wesentlich größere sei als die der zweiwertigen Kationen.

Als Maß der Bindungsfestigkeit hat JENNY unabhängig von unseren Arbeiten auf Grund seiner Versuche an reinen Materialien „die prozentische Intensität des Ionenaustausches" für den Fall erfolgreich benutzt, „daß die gesamte Menge der auf das System einwirkenden fremden Ionen gleich der im System gesamt vorhandenen Ionenmenge ist". Er nannte diese Prozentwerte „Symmetrie-Werte", die als relative Zahlen einen Vergleich beliebiger Systeme gestatten. Der Symmetriewert JENNYs ist das, was VAGELER als „Relative Dissociation L" bezeichnet hat, die durch die Gleichungen

$$L_1 = 100\left(1 - \frac{1}{1+q}\right) \text{ für das einwirkende Kation,}$$

$$L_2 = \frac{100}{1+q} \text{ für das gebundene Kation}$$

definiert ist.

Setzt man in den obigen Quotienten, um auf die Verhältnisse einheitlich mit nur einem Kation gesättigter Komplexe zu gelangen, Na = K = Ca = Mg = S, so würden sich,

Tabelle 8. q_S-Quotienten von 25 Böden.

$q_S \cdot S$	$q_{Na} \cdot Na$	$q_K \cdot K$	$q_{Mg} \cdot Mg$	$q_{Ca} \cdot Ca$	$\frac{q_{Na} \cdot Na}{q_S \cdot S}$	$\frac{q_K \cdot K}{q_S \cdot S}$	$\frac{q_{Mg} \cdot Mg}{q_S \cdot S}$	$\frac{q_{Ca} \cdot Ca}{q_S \cdot S}$
37,2	212	87	59	18	5,7	2,3	1,6	0,5
29,2	193	77	45	27	6,7	2,7	1,5	0,9
32,6	85	62	64	29	2,6	1,9	1,9	0,9
17,6	3	59	15	24	0,2	3,3	0,8	1,3
55,3	9	326	42	54	0,2	5,9	0,8	1,0
22	42	57	22	20	1,9	2,6	1,0	0,9
28	53	72	30	22	1,9	2,6	1,1	0,8
35	4	180	33	43	0,1	5,1	1,0	1,2
38	17	80	33	42	4,5	2,1	0,9	1,1
76	79	400	62	81	1,0	5,3	0,8	1,1
57	21	166	52	56	0,4	2,9	0,9	1,0
50	40	116	52	50	0,8	2,3	1,0	1,0
43	51	28	37	45	1,2	0,6	0,9	1,0
52	39	67	41	52	0,7	1,3	0,8	1,0
17	52	31	19	15	3,0	1,8	1,1	0,9
18	140	120	17	14	7,8	6,7	1,0	0,8
15	145	88	15	19	9,7	5,9	1,0	1,3
17	26	11	14	22	1,5	0,6	0,8	1,3
12	35	17	18	6	2,9	1,4	1,5	0,5
17	9	30	19	17	0,5	1,8	1,1	1,0
9	58	4	11	8	6,4	0,4	1,2	0,9
15	125	4	15	15	8,3	0,3	1,0	1,0
46	90	159	20	48	1,9	3,4	0,4	1,0
15	14	36	53	11	0,9	2,4	3,5	0,7
28	86	183	50	18	3,1	6,5	1,8	0,6
				Mittel:	2,9	2,9	1,2	0,9

wenn man $q_S = 1$ ansetzt, die folgenden Werte für L_2, d. h. die Relative Dissociation bzw. den Symmetriewert JENNY's ergeben bei abgerundeter Rechnung:

$$Na = \frac{100}{1 + 3} = 25\,\%, \qquad K = \frac{100}{1 + 3} = 25\,\%,$$

$$Mg = \frac{100}{1 + 1} = 50\,\%, \qquad Ca = \frac{100}{1 + 1} = 50\,\%,$$

d. h. die Haftfestigkeit der einwertigen Ionen wäre danach fast genau die doppelte wie die der zweiwertigen Kationen.

Diesem Befunde widerspricht, daß einheitlich gesättigte Tonkomplexe, gleichgültig ob sie mit Na, K, Ca oder Mg gesättigt sind, gegenüber dem gleichen Ion, wenn die S-Werte gleich sind, auch merklich die gleichen q-Werte des Austausches aufweisen.

Wie JENNY für einwertige Kationen festgestellt hat, verwischen sich bei Tonsubstanzen beim Austausch gegen das gleiche einwirkende Kation sogar die beim Eintausch großen

Unterschiede zwischen Li und K schon gegen NH_4 stark und praktisch fast völlig gegen einwirkendes H.

JENNY teilt die folgenden Symmetriewerte mit, denen die nach obiger Definition leicht zu berechnenden q-Werte zum Vergleich von uns beigefügt sind:

Li-bentonit-Ton gegen NH_4: 46,5%, q = 1,15; gegen H = 77,9%, q = 0,28;
Na-bentonit-Ton gegen NH_4: 49,6%, q = 1,02; gegen H = 76,4%, q = 0,31;
K-bentonit-Ton gegen NH_4: 43,7%, q = 1,29; gegen H = 74,1%, q = 0,35.

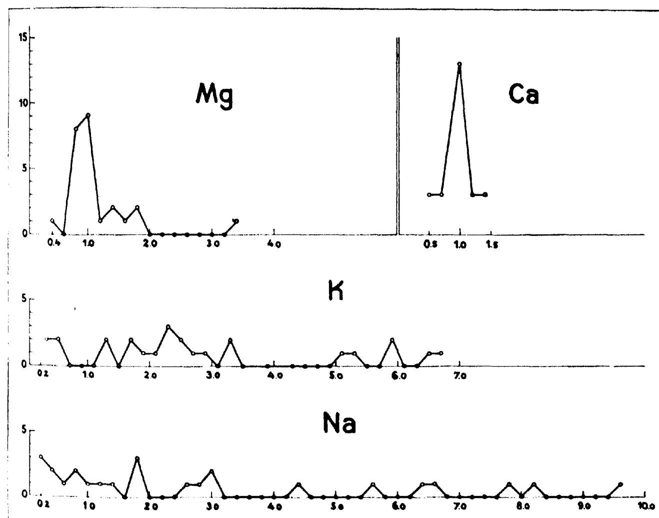


Abb. 12. Anwendbarkeit der Ausgleichsrechnung mittels der GAUSSschen Kurve auf die Bestimmung der adsorbierten Kationen.
Application of GAUSS' Law to the determination of absorbed cations.

Damit gewinnt die aufgeworfene Frage, ob nicht etwa die großen Unterschiede der q_s-Quotienten in der obigen Tabelle 6 bei ein- und zweiwertigen Kationen auf systematische Analysenfehler zurückzuführen sind, an Dringlichkeit.

Die Entscheidung ist sehr einfach. Handelt es sich um zufällige Fehler, d. h. repräsentieren die Mittelwerte der Tabelle 6 für die Kationen genäherte Tatsachen, so muß die Verteilung der Fehler mindestens genähert mit der GAUSSschen Fehlerkurve übereinstimmen. Handelt es sich um systematische Fehler, so kann von einer Übereinstimmung keine Rede sein.

Diagramm Abb. 12 zeigt sehr augenscheinlich, daß zwar bei den zweiwertigen Kationen die Übereinstimmung der für den Spezialfall berechneten theoretischen GAUSSschen Fehler-

kurve (Diagramm Abb. 13) und der tatsächlichen Verteilung eine so befriedigende ist, wie bei der relativ geringen Zahl von 25 Einzelbeobachtungen nur erwartet werden kann, daß dagegen von einer Übereinstimmung der beobachteten und der theoretischen Kurve bei den einwertigen Kationen gar keine Rede sein kann.

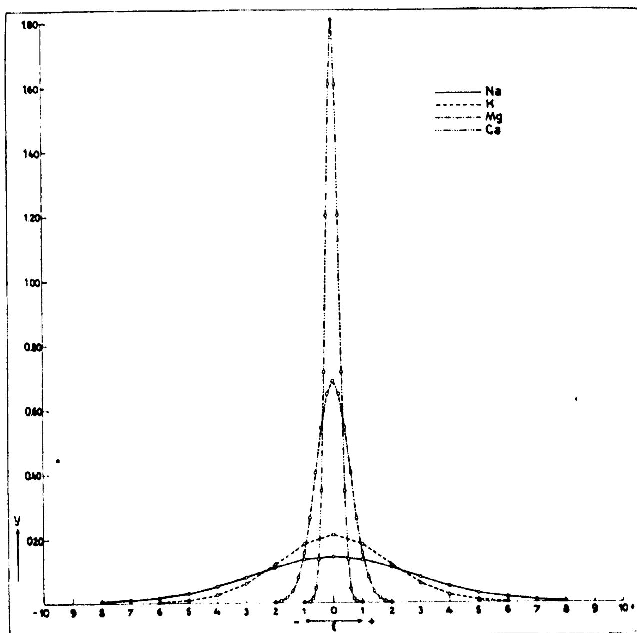


Abb. 13. Fehler(wahrscheinlichkeits)kurven nach GAUSS für das Verhältnis $\frac{q_{Na} \cdot Na}{q_N \cdot S}$; $\frac{q_K \cdot K}{q_N \cdot S}$; $\frac{q_{Mg} \cdot Mg}{q_N \cdot S}$; $\frac{q_{Ca} \cdot Ca}{q_N \cdot S}$.
Curves for probable error according to GAUSS.

Der hohe Quotient $\frac{q_K \cdot K}{q_N \cdot S}$ und $\frac{q_{Na} \cdot Na}{q_N \cdot S}$ ist also mindestens zum großen Teil nicht durch zufällige, sondern durch systematische Fehler bedingt.

Aus dem Charakter der Sorptionskurve als Hyperbel ist direkt zu entnehmen, daß zu hohe q-Werte nur durch Substanzverluste bei der Analyse entstehen können.

Ein Beispiel diene zur Erläuterung:

Die wahren y-Werte einer K- oder Na-Bestimmung seien

$$y_1 = 0{,}5 \quad \text{und} \quad y_2 = 0{,}8\,.$$

Daraus berechnet sich ein wahrer q-Wert 150. Es mögen nun, um das Beispiel nicht allzu drastisch zu gestalten, jeweils 0,1 Milliäquivalent je 100 g Boden verlorengehen, was für die praktische Analyse den Verlust von rund 0,015 Milliäquivalent, entsprechend etwa 0,5 mg bedeutet. Damit wird

$$y_1 = 0{,}4 \quad \text{und} \quad y_2 = 0{,}7\,,$$

und es berechnet sich $q = 214$! Ist der Verlust auch nur etwas größer, so schnellt der q-Wert auf ein Vielfaches herauf, um beim doppelt großen Fehler bereits unendlich zu werden.

Nun sind zwar sowohl die K- wie die Na-Bestimmung, namentlich die erstere, an sich sehr genau und geben bei sauberem Arbeiten die Chance für derartig große Fehler nicht. Leider kann aber ein gleiches für die Gewinnung der endgültig auf K und Na zu untersuchenden Lösungen nicht behauptet werden. Es liegen sogar zwei tatsächlich unvermeidliche Fehlerquellen vor, die beide in gleicher Richtung auf zu kleine y-Werte bei den beiden einwirkenden Kationen wirken.

Die erste dieser Quellen ist die Bestimmung des löslichen K und Na als Abzugswert. Es gibt kein Mittel, das bei der Herstellung des wasserlöslichen Auszuges verhindern kann, daß eine gewisse Hydrolyse der einwertig gesättigten Komplexanteile eintritt. D. h. das festgestellte wasserlösliche K und Na sind mit Sicherheit stets zu groß, so daß die y_1- und y_2-Werte für diese Kationen schon aus diesem Grunde zu klein ausfallen müssen.

Immerhin hält sich dieser Fehler sicherlich in sehr bescheidenen Grenzen.

Dies gilt für die zweite Fehlerquelle nicht, die genau so wenig zu vermeiden ist wie die erste. Das zur Verdrängung benutzte NH_4Cl läßt sich aus der Lösung nur durch Abrauchen entfernen. Auch bei Verwendung von Oxalsäure sind bei den großen Mengen wegzuglühenden NH_4Cl gewisse kleine Verluste an Alkalien unvermeidlich. Sie sind gegenstandslos für die Einzelanalyse; für die mathematische Analyse aber nur dann, wenn größere Mengen Alkalien an der Sättigung der Komplexe teilnehmen. Ist das nicht der Fall — und das gilt für sehr viele Böden! —, so daß man es überhaupt nur mit Bruchteilen von Milliäquivalenten je 100 g Boden zu tun hat, dann fallen die kleinen Verluste wohl nicht für den Einzelwert, aber sehr stark für die Endberechnung ins Gewicht.

Alle für Alkalien bei geringem Gehalt der Böden an Alkalien in den Komplexen ermittelten q-Werte müssen also zu hoch liegen, woraus sich die Lösung des Bildes der obigen Tabelle und das durch die Abweichungen von der GAUSSschen Kurve dokumentierte Bild der systematischen Fehler ergibt.

Für praktische Zwecke ist nach dem Ausgeführten die Annahme

$$q_S \cdot S = q_K \cdot K = q_{Na} \cdot Na = q_{Ca} \cdot Ca = q_{Mg} \cdot Mg = \text{const}$$

berechtigt.

Damit ist zunächst eine sehr große Vereinfachung der Analyse zur Bestimmung der Grenzwerte des sorptiv gebundenen Na, K, Mg und Ca gegeben.

Es ist für das K-Ion

$$y_K = \frac{x \cdot K}{x + q_K \cdot K}\,.$$

Wie oben gezeigt wurde, muß

$$q_K \cdot K = q_S \cdot S$$

sein. Es läßt sich also aus dem S- und q_S-Wert und einem y_K-Wert der Grenzwert des sorptiv gebundenen K berechnen:

$$y_K = \frac{x \cdot K}{x + q_S \cdot S}\,, \qquad K = \frac{y_K\,(x + q_S \cdot S)}{x}\,, \qquad q_K = \frac{q_S \cdot S}{K}\,.$$

5

f) Der Nährstoffgehalt der Bodenlösung.

Für die Nährstoffaufnahme der Pflanzen aus der Bodenlösung ist einerseits die Geschwindigkeit von Bedeutung, mit der die Bodenlösung den Wurzeln der Pflanzen zuströmt; diese wird durch die kritische Schichtdicke gekennzeichnet, deren Berechnung wir oben durchgeführt haben. Anderseits wird die Nährstoffversorgung der Pflanze aber auch durch den Nährstoffgehalt der Bodenlösung bestimmt.

Bei der Berechnung des Nährstoffgehaltes der Bodenlösung bezieht man gewöhnlich den Gehalt des Bodens an löslichen Salzen auf das gesamte Bodenwasser. Hat z. B. ein Boden einen löslichen Basengehalt von 0,5 Milliäquivalent je 100 g Trockensubstanz, so wird gewöhnlich angenommen, daß dann bei 10% Wassergehalt 0,5 Milliäquivalent Kationen auf 10 ccm Wasser kommen, die Lösung also im Boden $^1/_{20}$ n sei.

Dieser Ansatz ist falsch; denn für die Berechnung der Konzentration der Bodenlösung ist nicht der gesamte Wassergehalt des Bodens in Rechnung zu setzen, weil der Teil des Wassers, der in Form von Hydratationswasser der Schwarmionen vorliegt, für die Auflösung von Salzen nicht zur Verfügung steht.

Die Dicke der nur die Schwarmionen enthaltenden Hydratationswasserschicht ist eine Funktion der Salzkonzentration der Außenlösung; denn Bodenlösung und Schwarmwasser müssen in der Grenzschicht isotonisch sein. Vorhandenes Bodenwasser muß sich also in der Weise auf die Schwarmionen und die löslichen Salze verteilen, daß diese Bedingung erfüllt ist. Dadurch wird die Aufnehmbarkeit der im Bodenwasser gelösten Salze durch die Pflanze erschwert, weil infolge der höheren Konzentration der Bodenlösung ihr osmotischer Druck erhöht ist.

Voraussetzung für die Wasser- und damit Nährstoffaufnahme der Pflanzenwurzeln aus dem Boden ist das Vorhandensein eines osmotischen Druckgefälles. Die Mehrzahl der europäischen Kulturgewächse hat eine Wurzelsaugkraft von 5—15 Atmosphären. Das hygroskopische Wasser nach MITSCHERLICH steht unter einem Druck von rund 50 Atmosphären. Der osmotische Druck des Schwarmwassers nimmt auf Böden, bei denen zweiwertige Kationen überwiegen, bei zunehmendem Wasser-

gehalt etwa in der dritten Potenz des Wassergehaltes ab. Daraus ergibt sich, daß im großen und ganzen für die Lösung der Bodensalze erst das Wasser im Lebensspielraum der Pflanze eine Rolle spielt, das die doppelte Hygroskopizität nach MITSCHERLICH übersteigt.

Das bei lockerster Packung der als gleichgroße Kugeln gedachten Bodenteilchen ohne Quellung für das Wasser verfügbare Porenvolumen je 100 g Boden errechnet sich zu 34,3 ccm. In natürlicher Lagerung ist das Porenvolumen weit geringer und nähert sich sehr häufig dem Minimalwert bei dichtester Packung von nur 13,3 ccm je 100 g Boden, besonders im Untergrunde der Kulturböden. Hieraus folgt, daß nur auf ganz leichten Böden mit entsprechend geringer Hygroskopizität überhaupt nennenswerte Wassermengen zur Lösung der Bodensalze zur Verfügung stehen. Bei einer totalen Salzmenge von rund 0,5 bis 0,75 Milliäquivalent Base je 100 g Boden, wie sie unter europäischen Verhältnissen die Regel auf leichten Böden ist, kann die Bodenlösung allerhöchstens bis zu $^1/_{70}$ n verdünnt sein. Auf schweren Böden kommen dagegen solche Verdünnungen überhaupt nicht in Betracht, weil diese häufig nur wenig mehr als das zweifache hygroskopische Wasser enthalten. Vor allem gilt dieses für Untergrundschichten.

Demgegenüber arbeiten die heute üblichen Untersuchungsmethoden mit ganz enormen Wasserüberschüssen, die nicht etwa nur die vorhandenen Salze des Bodens lösen, sondern die Komplexe durch Hydrolyse angreifen. Was mit diesen Methoden und ganz besonders mit denjenigen, die mit wiederholter Extraktion arbeiten, als löslich gefunden wird, ist tatsächlich nicht der freibewegliche lösliche Salzgehalt des Bodens in der Natur, sondern die Summe der löslichen und sorptiv gebundenen Kationen, die im Felde nirgends den Pflanzen für die Nährstoffaufnahme im gleichen Umfange zur Verfügung stehen.

Nur die Extraktion mit kleinen Wassermengen, so klein, wie es aus analytisch-technischen Gründen nur möglich ist, kann den tatsächlich vorhandenen Salzmengen annähernd entsprechende Daten analytisch ergeben, nur annähernd deswegen, weil sich die Hydrolyse im Laboratorium niemals gänzlich ausschließen läßt.

Zur Bestimmung der in Lösung vorhandenen Kationen werden nach unserer Methode 100 g Bodentrockensubstanz mit 500 ccm kohlensäurefreiem Wasser im Rotierapparat geschüttelt.

Die aus der Bodenlösung verfügbare Basenmenge in Kiloäquivalent pro Hektar und Schicht ist, da ein Milliäquivalent je 100 g Bodentrockensubstanz 0,01 Kiloäquivalent Base je Tonne Bodentrockensubstanz entspricht:

Verfügbare Basenmenge in Kiloäquivalent

$= G_{tr} \cdot 0{,}01 \cdot$ lösl. Base in Milliäquivalent · anzurechnende Schichtdicke.

G_{tr} ist das Bodentrockengewicht in Tonnen pro Hektar und 1 cm Schicht.

Das Totalvolumen an festen Bestandteilen pro Zentimeter Schichtdicke ist

$$\text{Vol. fest} = 100 - M_W,$$

da das Hektarvolumen der 1 cm dicken Schicht in wassergesättigtem Zustande 100 cbm ist. M_W = Volumen des möglichen Wassers in cbm pro cm/ha. Das Gewicht G_{tr} an Trockensubstanz pro Zentimeter Schichtdicke und Hektar erhält man, wenn man das spezifische Gewicht des Bodens mit 2,6 einsetzt

$$G_{tr} = 2{,}6\ (100 - M_W) \text{ in Tonnen.}$$

Bei Untersuchungen verdrängter Bodenlösungen ist von sämtlichen Autoren wieder und immer wieder auf die auffallende Konstanz der Totalkonzentration der Bodenlösungen hingewiesen worden, die sich namentlich dann bemerkbar macht, wenn man die Böden bei einem für das Pflanzenwachstum optimalen Wassergehalt untersucht. Selbst in den physikalisch und chemisch verschiedensten Böden finden sich stets Normalitäten der gleichen Größenordnung von 0,1—0,3 auf den Preßsaft bezogen. Der Grund dieser eigentümlichen Konstanz ist darin zu sehen, daß zwischen Bodenlösung und Schwarmwasser stets ein Gleichgewicht besteht, daß also die Bodenkolloide regelnd auf die Bodenlösung wirken.

Es ist aber nicht möglich, auf Grund der für den Ionenaustausch zwischen Lösungen und Bodenkolloiden aufgestellten Formel die Zusammensetzung der Bodenlösung aus der Komplexbelegung zu berechnen, da die Kurven, welche die Ein- und Austauschbarkeit der einzelnen Ionen kennzeichnen, bei der gleichzeitigen Anwesenheit der verschiedenen Ionenarten Ca, Mg, K, Na, NH_4 usw., zu unauflösbaren

Gleichungen führen. Bei Verschiebung der Ionenverhältnisse in der Gleichgewichtslösung des Bodens treten zwar auch Verschiebungen in den Komplexen ein, aber die Komplexe weisen keinesfalls die gleiche Zusammensetzung wie die Bodenlösung auf, sondern weichen davon ab, da zwischen dem einzutauschenden Ion x und dem austauschenden Ion y für jedes Ion und für jeden Komplex verschiedene Beziehungen bestehen. Einige Analysenziffern, die besonders krasse Fälle darstellen, seien hier angeführt (Tabelle 9).

Tabelle 9. Prozentische Zusammensetzung von Bodenlösung und Komplexen, bezogen auf die Äquivalentsumme.

	Na %	K %	Mg %	Ca %
Nr. 01. Bodenlösung . . .	54	4	—	42
Komplex	2	3	28	67
Nr. 07. Bodenlösung . . .	50	1	16	33
Komplex	?	2	30	68
Nr. 02. Bodenlösung . . .	93	1	—	6
Komplex	16	1	31	52

Es ist bei diesen Analysenziffern zu bedenken, daß sie die Menge der löslichen Salze bei großem Wasserüberschuß angeben. Bei geringen Wassermengen im Boden verschiebt sich das Gleichgewicht der Bodenlösung noch mehr zugunsten der einwertigen Ionen, da die zweiwertigen Ionen über ihre Höchstkonzentration, die bald erreicht ist, nicht hinausgehen können.

Das Kalium befindet sich infolge seiner großen Haftfestigkeit gewöhnlich nur in geringen Mengen in der Bodenlösung. Wie sich bei verschiedenen Bodentypen der Kaligehalt der Bodenlösung zum Kaligehalt der Komplexe verhält, zeigt die in Tabelle 10 gegebene Übersicht:

Tabelle 10.

Bezeichnung	K in Lösung	K im Komplex	K-Komplex zu K-Lösung
Wüstensand	0,14	1,4	10,0
Europäischer Sand	0,01	0,30	30,0
Lehm	0,02	1,05	52,5
Ton	0,02	2,60	130,0
Humusboden	0,18	2,16	12,0

Die Anreicherung der Bodenlösung aus den Komplexen wird gefördert, wenn Bodenwasser und Bodenluft überschüssige Kohlensäure enthalten, so daß freie H-Ionen auftreten, die sich unter Basenaustausch an die Komplexe anlagern. In dieser Hinsicht ist der Humusgehalt der Böden bzw. Stallmist und Gründüngung für die Anreicherung der Bodenlösung an Nährstoffen günstig. Auch die Bodenatmung der Wurzeln bringt Kohlensäure in die Bodenlösung, ebenso die Lebenstätigkeit der im Boden arbeitenden Mikroorganismen.

g) Die Festlegung von Nährstoffen aus der Bodenlösung durch die Bodenkolloide.

Jede Veränderung in der Zusammensetzung der Bodenlösung, wie sie z. B. durch dem Boden einverleibte Düngemittel bewirkt wird, stört das Gleichgewicht zwischen den in der Lösung befindlichen Ionen und den adsorbierten Schwarmionen. Die der Bodenlösung zugeführten Ionen werden in gewissem Umfange durch Austauschadsorption von den Bodenkolloiden festgelegt, andere Ionen dafür in die Bodenlösung eingeführt. Diese Festlegung spielt insbesondere für die Kalidüngung eine wichtige Rolle, da sie einerseits das Kali der Kalidüngemittel vor dem Auswaschen schützt, anderseits aber auch von Einfluß auf die Aufnehmbarkeit des Düngerkalis durch die Pflanze ist.

Um die Gesetzmäßigkeiten der Adsorption von Kalisalzen durch die Böden zu studieren, setzten wir eine Reihe von Ausschüttelungsversuchen an, bei denen eine gewisse Bodenmenge mit steigenden Mengen einer Chlorkaliumlösung behandelt wurde. Die Ergebnisse der Untersuchung sind in der Tabelle 11 wiedergegeben.

Die Untersuchungsergebnisse lassen erkennen, daß beträchtliche Kalimengen vom Boden festgelegt wurden und daß mit steigenden, zur Ausschüttelung benutzten Mengen allmählich ein Sättigungsgrad des Bodens erreicht wurde, über den hinaus eine Anlagerung nicht mehr stattfand.

Um die Gültigkeit der Adsorptionshyperbel von VAGELER zu prüfen, setzten wir in die Formel $y = \frac{x \cdot S}{x + q_s \cdot S}$ für die einwirkende Menge von K aus KCl-Lösung $x = \frac{1}{a}$ ein, für die adsorbierte Menge Kali $y = \frac{1}{b}$, für den Grenzwert $S = \frac{1}{k}$.

Tabelle 11. Anlagerung von Kalium aus $^n/_{50}$-KCl-Lösung.

Angewandte Bodenmenge in g	Ausgeschüttelt mit		Angelagerte Milliäquivalent K auf 100 g Boden (= y)	y berechnet
	ccm $^n/_{50}$-KCl	Milliäquivalent K (= x)		
		Boden G 53		
100	400	x_1 = 8	y_1 = 7,27	7,60
100	600	x_2 = 12	y_2 = 10,29	10,60
100	800	x_3 = 16	y_3 = 12,61	13,21
100	1000	x_4 = 20	y_4 = 14,46	15,50
100	1200	x_5 = 24	y_5 = 16,34	17,00
100	1600	x_6 = 32	y_6 = 19,68	19,44
100	2000	x_7 = 40	y_7 = 20,53	22,38
100	2400	x_8 = 48	y_8 = 22,70	23,16
		Boden G 29		
100	400	x_1 = 8	y_1 = 7,57	8,97
100	600	x_2 = 12	y_2 = 10,60	11,29
100	800	x_3 = 16	y_3 = 13,21	13,87
100	1000	x_4 = 20	y_4 = 15,50	16,06
100	1200	x_5 = 24	y_5 = 17,00	17,95
100	1600	x_6 = 32	y_6 = 19,44	21,08
100	2000	x_7 = 40	y_7 = 22,38	23,53
100	2400	x_8 = 48	y_8 = 23,16	25,50
		Boden O 22		
100	600	x_1 = 8	y_1 = 5,91	6,17
100	800	x_2 = 12	y_2 = 7,50	7,81
100	1000	x_3 = 16	y_3 = 8,71	9,00
100	1200	x_4 = 20	y_4 = 9,39	9,90
100	1600	x_5 = 24	y_5 = 10,05	10,66
100	2000	x_6 = 32	y_6 = 10,67	11,65
		Boden B 25		
100	400	x_1 = 8	y_1 = 4,65	4,50
100	600	x_2 = 12	y_2 = 5,46	5,43
100	800	x_3 = 16	y_3 = 5,99	6,06
100	1000	x_4 = 20	y_4 = 6,12	6,51
100	1200	x_5 = 24	y_5 = 7,05	6,89

Die Gleichung $y = \frac{x \cdot S}{x + q_S \cdot S}$ wandelt sich dann um in die Form $b = k + q \cdot a$, also die Gleichung einer Geraden. Die Idealkurven $b = k + q \cdot a$ haben wir in Abb. 14 eingetragen und ihnen die beobachteten Werte von b gegenübergestellt. Die Übereinstimmung ist als

befriedigend zu bezeichnen, allerdings finden sich Abweichungen bei den höchsten auf den Boden einwirkenden Mengen von $^{n}/_{50}$-KCl-Lösung.

Diese erklären sich zum Teil dadurch, daß bei Einwirkung größerer Mengen einer stark verdünnten Lösung infolge Hydrolyse der Komplexe größere Mengen in Lösung bleiben, als sich nach der Adsorptionsformel ergibt. Immerhin zeigen die obigen Zahlen, daß selbst bei einer Verdünnung von $^{n}/_{50}$-KCl die Folgerungen über die K-Festlegung aus den analytischen Daten der Böden noch mit großer Annäherung erfüllt sind.

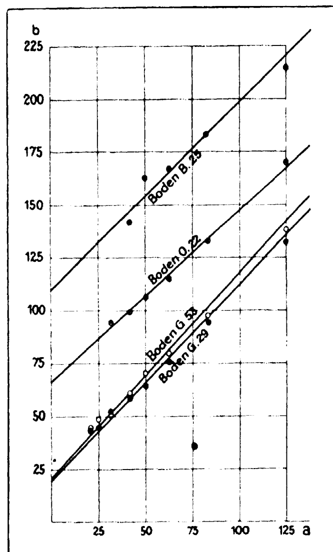


Abb. 14. Reziproke Kurven $b = k + q \cdot a$.
Reciprocal curves $b = k + q \cdot a$.

Den experimentellen Beweis, daß die Kalianlagerung sich mit ausreichender Genauigkeit unter Zugrundelegung des q_S-Wertes der mit NH_4Cl als Verdrängungsmittel ausgeführten Analyse berechnen läßt, erbrachten auch die nachstehend in Tabelle 12 angeführten Untersuchungen, bei denen, um auch möglicherweise störende Momente einzubeziehen, Böden mit sehr verschiedenem Gehalt an löslichen Salzen verwendet wurden, da von diesen in erster Linie ein Einfluß zu erwarten war.

Tabelle 12.

Boden Nr.	Lösliche Basen Milliäquivalent	S	q_S	Kalianlagerung			
				aus 100 Milliäquivalent		aus 200 Milliäquivalent	
				berechnet	gefunden	berechnet	gefunden
D 27	1,23	30,58	1,04	22,1	21,8	24,9	23,6
D 28	1,57	33,67	1,00	24,8	25,0	28,4	27,4
D 37	7,89	43,86	0,64	33,5	33,6	37,4	37,0
Nn	12,02	38,17	0,58	30,6	30,9	33,6	33,1

Die Übereinstimmung von Rechnung und Beobachtung ist so vollkommen, wie sie unter so verschiedenen Bodenverhältnissen kaum erwartet werden konnte. Der Beweis

der Zulässigkeit des Rechnungsverfahrens dürfte damit zunächst für den Fall erbracht sein, daß einem Boden im Laboratorium Kali aus einer Lösung angelagert wird.

Bei der Festlegung von Düngerkali durch den Boden liegen die Verhältnisse insofern anders, als hier nicht steigende Mengen von Kali durch eine bestimmte Bodenmenge festgelegt werden, sondern eine bestimmte Menge von Lösung beim Versickern auf steigende Mengen von Boden einwirkt, welche Kali aus ihr adsorbieren. Dabei wird von einer gegebenen Kalimenge D durch steigende Mengen des Bodens die Menge F als Grenzwert in asymptotischem Verlauf allmählich festgelegt. Dieser Prozeß läßt sich durch eine Hyperbelgleichung

$$F = \frac{m \cdot D}{m + p \cdot D}$$

wiedergeben, in welcher m ein Vielfaches der Einheitsmenge 100 g Boden, D die angewendete Kalimenge in Milliäquivalent, p einen Modul bedeutet, der sich aus den Daten der Bodenanalyse berechnen läßt.

In den Analysendaten sind gegeben der Grenzwert S und der Eintauschmodul q_S, der im allgemeinen mit genügender Annäherung auch als Eintauschmodul von K verwendet werden kann, da das bei der Analyse benutzte NH_4 ungefähr die gleiche Eintauschenergie hat wie K, bzw. eine nur um ein geringes höhere. q_S ist mithin etwas kleiner als q beim Eintausch von K, es ergaben sich also Maximalwerte, was praktisch ausreichend ist.

Bei Einwirkung der Kalimenge $x = D$ Milliäquivalent auf 100 g Boden wird nach der Gleichung $y = \frac{x \cdot S}{x + q_S \cdot S}$ die Menge

$$F = \frac{D \cdot S}{D + q_S \cdot S} \text{ Milliäquivalent}$$

festgelegt.

Nach der oben angeführten Formel für die Festlegung durch den Boden in der Natur

$$F = \frac{m \cdot D}{m + p \cdot D}$$

würde für F, da m für 100 g Boden gleich 1 ist,

$$F = \frac{D}{1 + p \cdot D} \text{ Milliäquivalent}$$

zu setzen sein.

Aus beiden Gleichungen berechnet sich

$$p = \frac{D + S(q_S - 1)}{DS}$$

und

$$F = \frac{m\,DS}{S(m + q_S - 1) + D} \text{ Milliäquivalent.} \qquad (15)$$

Da m Milligrammäquivalent je 100 g Boden m Kilogrammäquivalent je 100 Tonnen Boden entsprechen, bedeutet F die Kalimenge in Kilogrammäquivalent, die von dem m-fachen von 100 t Boden festgelegt wird. Eine Bodenschicht von 1 cm hat ein Trockengewicht je ha von 2,6 (100 — M_W) Tonnen; für diese Schicht wird mithin

$$m = \frac{2{,}6\,(100 - M_W)}{100}.$$

Der von einer Bodenschicht aus einer bestimmten angewendeten Kationen- oder Düngermenge D festgelegte Anteil F ist also aus den Analysendaten zu ermitteln, und damit mit guter Näherung die Verteilung der Düngung auf Komplexe und Bodenlösung in den einzelnen Bodenschichten zu berechnen. Der in einer Bodenschicht in Lösung verbleibende Rest ist

$$R = D - F = D - \frac{m\,DS}{S(m + q_S - 1) + D} = \frac{D(D + q_S - S)}{S(m + q_S - 1) + D}. \qquad (16)$$

Der Faktor p nimmt, wie die Gleichung $p = \frac{D + S(q_S - 1)}{DS}$ zeigt, positive Werte nur an, wenn

$$(D + q_S S) > S$$

ist. Das ist, wenn D nicht sehr groß ist, nur bei Böden mit $q > 1$ stets der Fall. Bei

$$(D + q_S S) = S$$

geht p durch den Nullpunkt, es wird also

$$F = \frac{D}{1 + pD} = D = S(1 - q_S), \qquad (17)$$

d. h. es wird von der Einheitsmenge Boden gerade die gesamte gegebene Düngung festgelegt.

Negative p-Werte, die bei $(D + q_S \cdot S) < S$ entstehen, besagen, daß durch die gegebene Düngung noch nicht einmal die Einheitsschicht voll gesättigt ist, also von einer Verteilung des K theoretisch keine Rede ist, wenn praktisch auch natürlich durch Risse, Wurzelhöhlungen usw. eine gewisse Verteilung der gegebenen K-Düngung unter dem Einfluß von Regen oder Irrigationswasser erfolgt.

Das Einsetzen beliebiger Werte in die Gleichungen zeigt, daß Böden mit q-Werten nahe 1 und auch nur einigermaßen großer austauschbarer Basenmenge S, also mittlere und schwere Böden, unter Umständen ganz riesige Kalimengen festlegen, ehe das Kalium in Lösung zur Wirkung kommen kann.

Betrachten wir z. B. einen strengen Lehm, der einen S-Wert von 20 Milliäquivalent, einen q-Wert von etwa 0,8, n = 20 cm Krumentiefe und ein Volumgewicht des Bodens von r = 1,3 haben möge; so wird m = $20 \cdot 1{,}3$ t und die von diesem Boden in der Krume aus einer Düngergabe D = 10 Kiloäquivalent K je ha = 470 kg Reinkali = etwa $9^1/_2$ dz Chlorkalium festgelegte Kalimenge berechnet sich zu

$$F = \frac{m\,D\,S}{S\,(m + q_s - 1) + D} = \frac{20 \cdot 1{,}3 \cdot 10 \cdot 20}{20\,(20 \cdot 1{,}3 + 0{,}8 - 1) + 10} = 9{,}9 \text{ Kiloäquivalent K},$$

99% der Kaligabe werden also von der Krume festgelegt.

Selbst wenn man diesem Boden eine Kalidüngung mit D = 100 Kiloäquivalent K (= 4700 kg K_2O = rund 100 dz schws. Kali je ha verabreichen würde, würde der größte Teil derselben noch in der Krume verbleiben. Die in den obersten 20 cm festgelegte Menge F wäre dann

$$F = \frac{20 \cdot 1{,}3 \cdot 100 \cdot 20}{20\,(20 \cdot 1{,}3 + 0{,}8 - 1) + 100} = 84{,}5 \text{ Kiloäquivalent K}.$$

Es ist also kein Wunder, daß bei einem auf einem derartigen Boden durchgeführten Versuche von FR. WAGNER-Weihenstephan das während 23 Jahren gegebene Kali nicht weiter als 25 cm in den Boden eingedrungen ist, namentlich wenn man die Entnahme durch die Pflanzen berücksichtigt.

Als weitere Beispiele fügen wir Untersuchungen einiger Bodentypen aus Holland an (Tabelle 13). Die angenommene Düngermenge K = 10 Kiloäquivalent je ha entspricht einer sehr starken Düngung von etwa 10 dz schws. Kali je Hektar.

Aus der Tabelle 13 geht hervor, daß es sowohl Böden gibt, bei denen die Düngemittel sich gut verteilen, wie solche, wo ohne tiefes Unterbringen an eine gute Verteilung nicht zu denken ist. Daß bei großen Niederschlagsmengen auch ursprünglich in der Krume festgelegte Nährstoff- und speziell Kalimengen wieder in Lösung gehen werden, ist eine

Tabelle 13. Von einer Düngung von 10 Kiloäquivalent K je Hektar in verschiedenen Bodenschichten festgelegte Kalimengen.

Böden	S	q_x	p	1–10 cm Kilo-äqui-valent	%	10–20 cm Kilo-äqui valent	%	20–30 cm Kilo-äqui-valent	%	Total in Kilo-äqui-valent	Krume %
B 6 (Sand. Lehm)	13,1	1,14	0,09	9,2	92	0,3	3	0,2	2	9,7	97
B 1 (Humusbod.)	40,2	1,70	0,094	9,1	91	0,3	3	0,2	2	9,6	96
B 13 (Sand) . . .	3,38	7,42	0,94	5,1	51	1,7	17	0,8	8	7,6	76
O 15 (Sand) . . .	1,32	15,2	2,2	3,1	31	1,7	17	1,0	10	5,8	58

Selbstverständlichkeit. Die große Frage ist aber, ob dieses Löslichwerden durch die Niederschläge gerade dann erfolgt, wenn die Kulturgewächse in der Wurzelschicht die Nährstoffe am nötigsten brauchen; nämlich in der ersten Jugend. Das wird unter praktischen Umständen meist nicht der Fall sein, und man muß für Böden, die alles oder den größten Teil des gegebenen K schon in den obersten Zentimetern festhalten, weil sie ein sehr kleines q besitzen, zur tiefen Unterbringung der Kalisalze mahnen.

Nach allen praktischen Erfahrungen, die durch die theoretische Rechnung belegt werden, ist nicht zu bezweifeln, daß sehr häufig ein Ausbleiben der Wirkung von K-Düngemitteln bei analytisch nachweisbarem Kalimangel nur auf die ungenügende Verteilung des K in der ganzen Tiefe der Ackerkrume zurückzuführen ist, die verhindert, daß das K rechtzeitig in den Bereich der aufnehmenden Wurzeln kommt. Ganz besonders gilt das für tief wurzelnde Dauerkulturen wie Obstbäume, Tee, Kakao und viele Waldbäume, die sehr häufig, wenn der Boden das Kali stark festlegt und nicht für tiefes Unterbringen der gegebenen Düngung Sorge getragen wird, jahrelang vielleicht gar nichts oder sehr wenig von einer gegebenen Düngung haben werden. Die bekannte starke Wirkung der Kalidüngung zu Hackfrüchten beruht sicher nicht nur auf deren besonders starkem Kalibedürfnis, sondern zum sehr großen Teil darauf, daß ihre Wurzelverbreitung hauptsächlich, trotzdem einzelne Wurzeln sehr tief gehen, in der durch die Bearbeitung gelockerten Krume vor sich geht, wo der größte Teil der gegebenen Düngung, für die Wurzeln greifbar, gut verteilt ist. Das muß um so mehr dann der Fall sein, wenn die Niederschläge nicht genügend groß sind, um überhaupt in größere Bodentiefen zu dringen.

Die starke Festlegung von Nährstoffen ist für die richtige Beurteilung von Versuchsresultaten mit Kali- und sonstiger Düngung bei schwereren Böden als wichtig zu beachten. Wenn eine Kalidüngung bei einem Boden nur zu einem geringen oder keinem Erfolge führte, wurde meist im Vertrauen auf das Ergebnis des Versuches der Schluß gezogen, daß der betreffende Boden ausreichende, für die Pflanze verfügbare Mengen an Kali besitze. Sehr häufig zeigt aber die Untersuchung derartiger Böden im Laboratorium, daß der betreffende Boden in Wirklichkeit kaliarm ist. Der scheinbare Widerspruch zwischen Feldversuch und Bodenanalyse erklärt sich dadurch, daß ein negativer Ausfall eines Düngungsversuches mit irgendeinem Pflanzennährstoff nicht immer auf einen genügenden Reichtum an diesem Nährstoff zurückzuführen ist, sondern vielfach darauf, daß der Boden die gegebene Düngung zunächst einmal seiner Reserve einfügt und damit an ihrer Auswirkung auf die Pflanze hindert.

Zur Erkennung dieser letzteren, außerordentlich verbreiteten Fälle einer falschen Beurteilung von Düngungsversuchsergebnissen, die selbstverständlich den zu beratenden Landwirt schädigen, gibt die von uns vorgeschlagene Untersuchungs- und Auswertungsmethode eine sichere Möglichkeit.

Bei der eben gegebenen Ableitung der Formel für die Festlegung ist nicht berücksichtigt worden, daß der Boden bereits einen natürlichen Gehalt an adsorptiv gebundenem Kali K aufweist, daß also für die Festlegung von Kali aus der Bodenlösung nicht ein Austausch der gesamten adsorbierten Basen S in Frage kommt, sondern nur des Teiles $S-K$.

Die von 100 g Boden einzutauschende Kalimenge berechnet sich unter Berücksichtigung dieses Gehaltes auf Grund der Analyse zu

$$y' = \frac{x\,(S-K)}{x + q_{(S-K)} \cdot (S-K)},$$

da

$$q_{(S-K)} \cdot (S-K) = q_S\, S$$

ist, wird

$$y' = \frac{x\,(S-K)}{x + q_S \cdot S}.$$

Die von einer Kalidüngermenge D durch 100 g Boden in der Natur festgelegte Menge F wird daher

$$F = \frac{D}{1 + p\,D} = \frac{D\,(S-K)}{D + q_S\,S}.$$

Hieraus berechnet sich

$$p = \frac{D + q_S\,S - (S-K)}{D\,(S-K)}$$

und

$$F = \frac{m\,D}{m + p\,D} = \frac{m\,D}{m + \dfrac{D + q_S\,S - (S-K)}{D\,(S-K)} \cdot D} = \frac{m\,D\,S}{S\,(m-1) + (D + q_S\,S)} \cdot \frac{S}{S-K}.$$

Es ist aber für praktische Zwecke in jedem Falle ausreichend, wenn man den ursprünglichen Kaligehalt des Bodens vernachlässigt, also für den Ausdruck $\frac{S}{S+K}$ den Wert 1 setzt, so daß für $m \cdot 100$ g Boden

$$F = \frac{m \cdot D \cdot S}{S(m + q_S - 1) + D} \text{ Milliäquivalent} \tag{15}$$

wird.

b) Nährstofflieferung aus den Adsorptionskomplexen.

Aus den Adsorptionskomplexen können nur die Nährstoffmengen im Laufe der Vegetationsperiode verfügbar gemacht werden, die durch das an den Wurzelspitzen in Berührung mit den Bodenteilchen ausgeschiedene H-Ion aus diesen verdrängt werden.

Um diese Menge genau berechnen zu können, müßte man wissen, welche Menge Wasserstoffionen durch die Kohlensäureproduktion der Pflanzenwurzeln erzeugt wird, worüber aber genaue Messungen noch nicht vorliegen. Außerdem hat sich auch ergeben, daß die aufgenommene Basenmenge der Wasserstoffausscheidung der Wurzeln nicht entspricht, daß nämlich mehr Kohlensäure von den Wurzeln ausgeschieden wird, als zur Aufnahme von Kationen Verwendung findet.

Es ist daher nur eine sehr grobe Annäherung, wenn wir als Unterlage für eine Berechnung annehmen, daß die für die Aufnahme von Kationen wirksame Menge Wasserstoffionen dem Basengehalt der Pflanzen annähernd entspricht. Für maximale Ernten verschiedener Kulturgewächse berechnen sich auf diese Weise folgende Mengen von Kiloäquivalent Wasserstoffion je Hektar:

Pflanze	Kiloäquivalent H	Pflanze	Kiloäquivalent H
Getreidearten	4—6	Kaffee, Tee	3—7
Mais, Hirse	6—8	Ölpalmen	20—25
Kartoffeln	5—15	Baumwolle	12—25
Rüben	15—25	Hanf	15—25
Tabak	5—7	Zuckerrohr	20—30
Laubhölzer	2—4	Bananen	20—30
Nadelhölzer	1—3	Obstbäume	2—6

Die Aufnahme von Nährstoffen aus den Komplexen des Bodens durch Basenverdrängung durch das produzierte Wasserstoffion unterliegt den Austauschgesetzen.

Die Menge von Basen, die aus den Sorptionskomplexen des Bodens durch eine bestimmte Menge von Wasserstoffionen verdrängt wird, stellt den Grenzwert der Einwirkung einer bestimmten Ionenmenge H auf steigende Mengen eines Bodens von einer Sorptionskapazität S dar. Nach der Formel (15) berechnen sich die durch eine bestimmte Menge H aus einer Bodenschicht von $m \cdot 100$ t ausgetauschten Kationen nach der Formel

$$N_v = \frac{m \cdot H \cdot S}{S(m + q_S - 1) + H} . \tag{18}$$

Der q-Wert des Eintausches wird bei der Analyse mit NH_4 bestimmt, H hat aber etwa die doppelte Eintauschenergie wie NH_4. Deshalb ist für H bei dieser Berechnung das Doppelte der tatsächlich vorhandenen H-Menge einzusetzen.

Da $q_S \cdot S = q_{Na} \cdot Na = q_K \cdot K = q_{Ca} \cdot Ca = q_{Mg} \cdot Mg$ usw. ist, berechnen sich die einzelnen infolge Einwirkung von H frei werdenden Ionen zu

$$\left.\begin{aligned} Na_v &= \frac{q_S}{q_{Na}} \cdot N_v , \\ K_v &= \frac{q_S}{q_K} \cdot N_v , \\ Mg_v &= \frac{q_S}{q_{Mg}} \cdot N_v , \\ Ca_v &= \frac{q_S}{q_{Ca}} \cdot N_v . \end{aligned}\right\} \tag{19}$$

Da der Pflanze nicht für jede Bodenschicht, sondern nur für ihr ganzes Wurzelsystem zusammen eine gewisse H-Ionenmenge als Verdrängungsmittel zur Verfügung steht, dürfen die für die einzelnen Profilschichten nunmehr bis zur größten Wurzeltiefe sich ergebenden Basenmengen nicht addiert werden.

Die Rechnung ist vielmehr für alle Bodenschichten bis zum Ende der Hauptwurzelzone so durchzuführen, daß unter Berücksichtigung der Mächtigkeit der einzelnen Schichten mit dem auf sie entfallenden Anteil H gerechnet wird.

Die bekannte Erscheinung, daß Topfversuche mit Böden stets eine vielfach bessere Ausnutzung der im Boden vorhandenen oder ihm zugeführten Basen ergeben, als im Felde zu beobachten ist, weshalb

Resultate von Topfversuchen sich nur mit großer Vorsicht auf das Feld übertragen lassen, erklärt sich aus der im Topfversuch herrschenden besseren Ausnutzung der Bodenkomplexe durch die von den Wurzeln entwickelten H-Ionen. Während nämlich im Felde, wo die Wurzeln sich weit durchs Profil verbreiten, auf die Einheit der Bodenmenge nur eine sehr kleine H-Ionenmenge zur Wirkung kommt, ist im Topf diese Menge relativ vervielfacht, mit dem Ergebnis, daß die Komplexe in einem Umfange angegriffen werden, wie es auf dem Felde nie der Fall sein kann.

Wenn ein Boden mit Kali gedüngt wurde und ein Teil des in der Düngung gegebenen Kalis durch die Adsorptionskomplexe des Bodens festgelegt wurde, so wird durch die Vermehrung der Kalisättigung der Komplexe der Austausch des adsorbierten Kalis gesteigert.

Bei der Einwirkung der Kalimenge x auf einen Boden mit dem natürlichen Gehalte K an adsorptiv gebundenem Kali und dem Gesamtgehalte S an adsorptiv gebundenen Basen steht für den Eintausch von Kali die Adsorptionskapazität $(S - K)$ zur Verfügung. Die von 100 g Boden eingetauschte Kalimenge berechnet sich nach dem oben erörterten Gleichungssystem zu

$$y_K = \frac{x(S - K)}{x + q_S \cdot S}.$$

Der Kaligehalt des Bodens ist nach erfolgter Einwirkung der Düngung

$$K' = K + y_K = K + \frac{x(S - K)}{x + q_S \cdot S}.$$

Die durch die Einwirkung der Kalimenge x ausgetauschten anderen Kationenmengen berechnen sich zu

$$y_{Na} = \frac{x \cdot Na}{x + q_{Na} \cdot Na} = \frac{x \cdot Na}{x + q_S \cdot S},$$

$$y_{Mg} = \frac{x \cdot Mg}{x + q_{Mg} \cdot Mg} = \frac{x \cdot Mg}{x + q_S \cdot S},$$

$$y_{Ca} = \frac{x \cdot Ca}{x + q_{Ca} \cdot Ca} = \frac{x \cdot Ca}{x + q_S \cdot S}.$$

In 100 g Boden sind nach dem Einstellen eines Gleichgewichtes mithin die folgenden Mengen dieser Kationen in adsorbierter Form enthalten:

$$Na' = Na - \frac{x \cdot Na}{x + q_S \cdot S}; \quad Mg' = Mg - \frac{x \cdot Mg}{x + q_S \cdot S}; \quad Ca' = Ca - \frac{x \cdot Ca}{x + q_S \cdot S}.$$

Die q-Werte des Austausches von Kali nach einer bestimmten Kaligabe oder Düngung im allgemeinen lassen sich für das K und für den im Komplex verbleibenden Anteil des Na, Mg und Ca auf Grund der Gleichungen $q_K K = q_S S$ usw. bestimmen. Es ist:

$$q_K \text{ (Austausch)} = \frac{q_S \cdot S}{K'} = \frac{q_S \cdot S}{K + \frac{x(S - K)}{x + q_S \cdot S}} = \frac{q_S(x + q_S \cdot S)}{x + q_S \cdot K},$$

$$q_{Na}\,(\text{Austausch}) = \frac{q_S \cdot S}{Na'} = \frac{q_S \cdot S}{Na - \dfrac{x \cdot Na}{x + q_S \cdot S}} = \frac{(x + q_S \cdot S)}{Na},$$

$$q_{Mg}\,(\text{Austausch}) = \frac{q_S \cdot S}{Mg'} = \frac{q_S \cdot S}{Mg - \dfrac{x \cdot Mg}{x + q_S \cdot S}} = \frac{(x + q_S \cdot S)}{Mg},$$

$$q_{Ca}\,(\text{Austausch}) = \frac{q_S \cdot S}{Ca'} = \frac{q_S \cdot S}{Ca - \dfrac{x \cdot Ca}{x + q_S \cdot S}} = \frac{(x + q_S \cdot S)}{Ca}.$$

Diagramm Abb. 15 gibt die graphische Darstellung der q-Kurven als Funktion des absoluten Anteils am Komplex für einen Boden mit $S = 50$, $q_S = 1{,}2$ und $S = 10$, $q_S = 3$. Ihr Verlauf ist hyperbolisch. Diagramm Abb. 16 zeigt die Zusammensetzung der Komplexsättigung und der dazugehörigen q-Werte des Austausches als Funktion der angewendeten Kalimenge für einen Boden mit folgender Zusammensetzung:

S	$= 50$	q_S	$= 1{,}2$
Na	$= 7{,}5$	q_{Na}	$= 8{,}0$
K	$= 2{,}5$	q_K	$= 24{,}0$
Mg	$= 15{,}0$	q_{Mg}	$= 4{,}0$
Ca	$= 25{,}0$	q_{Ca}	$= 2{,}4$

Auffallend ist es, daß die q-Kurve des Austausches für das K, also den in der Düngung zugeführten Nährstoff, hyperbolisch verläuft, während die q-Kurven für den im Komplex verbleibenden Anteil des Na, Mg und Ca, allgemein gesagt, der nicht in der Düngung enthaltenen Kationen, geradlinig verlaufen.

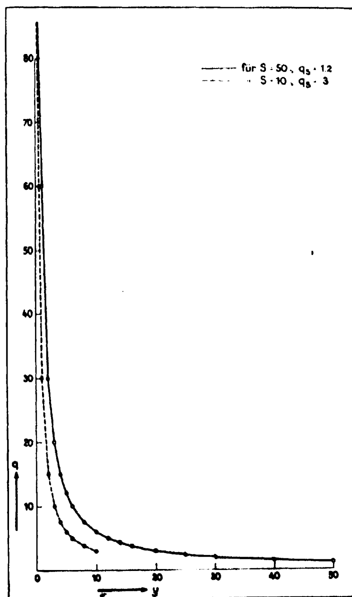


Abb. 15. Verlauf der q-Kurven als Funktion des absoluten Anteils am Komplex.

Curves for q calculated as function of the absolute composition of the absorptive complex.

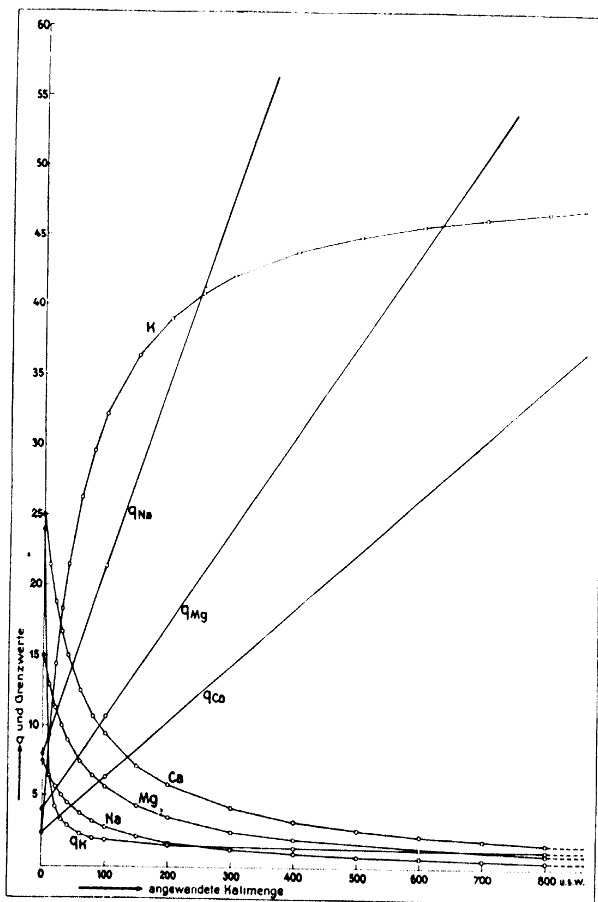


Abb. 16. Zusammensetzung der Komplexsättigung und der dazugehörigen q-Werte des Austausches als Funktion der angewendeten Kalimenge.
Composition of absorptive Complex and q-values for the exchange as function of the quantity of potash applied.

Berechnet man die Löslichkeit des adsorptiv gebundenen Kalis in t auf eine Bodenschicht von $F = m\,100$ t, so ist vor der Kalidüngung aus den Komplexen löslich durch H die Menge

$$K_v = \frac{q_s}{q_K} \cdot N_v = \frac{q_s}{q_K} \cdot \frac{m\,H\,S}{S\,(m + q_s - 1) + H}. \qquad (19a)$$

Nachdem durch die Düngung der Gehalt von 100 g Boden an adsorptiv gebundenem Kali auf

$$K' = K + \frac{F}{m} \text{ Millival}$$

angestiegen ist, wird

$$q'_K = \frac{q_s \cdot S}{K'} = \frac{q_s \cdot S}{K + \frac{F}{m}},$$

also

$$K'_v = \frac{q_s}{\frac{q_s \cdot S}{\left(K + \frac{F}{m}\right)}} \cdot \frac{m\,H\,S}{S\,(m + q_s - 1) + H}. \qquad (19b)$$

i) Die Berechnung der notwendigen Düngermenge auf Grund der Bodenuntersuchung.

Hat man aus dem Gehalt und der Beweglichkeit der Bodenlösung die von dieser zur Verfügung gestellte Nährstoffmenge N_l, ferner aus den Lieferungsmöglichkeiten der Komplexe die Nährstoffmengen N_v berechnet, welche durch die H-Ionen der Wurzeln der angebauten Pflanzen löslich gemacht werden, so ergibt sich die als Düngung benötigte Nährstoffmenge M als Differenz zwischen Nährstoffbedarf E einer Höchsternte und der Nährstoffversorgung durch den Boden $M = E - (N_l + N_v)$.

Die Deckung des Nährstoffbedarfs durch die Düngung muß so geschehen, daß diese Mengen für die Pflanzen auch voll aufnehmbar sind. Diese Einschränkung besagt, daß das Nährstoffminus noch in keiner Weise die tatsächlich benötigte Düngung angibt, weil diese zum Teil durch den Boden festgelegt wird. Der prinzipielle Unterschied gegenüber der älteren Düngerstatik ist deutlich.

Das nach der Düngung aus den Komplexen verfügbar werdende Kali K_v plus dem nach der Düngung in Lösung bleibenden Rest R muß so groß sein, daß es dem Kalientzug durch die Ernte E entspricht:

$$E = K_v + R. \qquad (20)$$

6*

Für die Bestimmung der benötigten Kalidüngung ist der Wert E um die bereits vor der Düngung in der betreffenden Schicht in Lösung befindliche Kalimenge K_l zu vermindern, so daß der zusätzliche Kalibedarf E_1 wird:

$$E_1 = E - K_l. \tag{21}$$

$K_v + R = E$ geht also, da auch die in Lösung befindlichen Nährstoffe berücksichtigt werden müssen, in die Gleichung $K_v + R = E_1$ über, in die die für K_v und R abgeleiteten Ausdrücke einzusetzen sind

$$\left(\frac{q_S}{\frac{q_S \cdot S}{K + \frac{F}{m}}} \cdot \frac{m \cdot H \cdot S}{S(m + q_S - 1) + H}\right) + \left(D - \frac{m \cdot D \cdot S}{S(m + q_S - 1) + D}\right) = E_1. \tag{22}$$

Zur vereinfachten Umformung der Gleichung setzt man:

$$S(m + q_S - 1) = a$$
$$m \cdot H = b$$
$$m \cdot S = c$$

und erhält:

$$D^2(a + H) + D(Kb + a^2 + aH - ac - aE_1 - HE_1) = a^2 E_1 + aHE_1 - Kab.$$

Bei der Auflösung der Gleichung nach D erhält man die erforderliche Düngermenge in Kiloval je Hektar.

Zur Überschlagsrechnung lassen sich die Gleichungen noch vereinfachen.

$(q_S - 1)$ ist schon bei mittlerem Boden, fast stets aber bei schwererem Boden beinahe gleich Null. Ist die in Rechnung zu ziehende Bodentiefe auch nur einigermaßen groß, so ist auch m groß und, von ganz leichten Sandböden abgesehen, der Wert $(q_S - 1)$ gegenüber m zu vernachlässigen. Es ergibt sich dann als angenäherter Wert

$$a = S(m + q_S - 1) = m \cdot S = c.$$

Setzt man diesen Wert ein, so lautet die Gleichung

$$\left.\begin{aligned} D^2(a + H) + D(Kb + aH - aE_1 - HE_1) \\ = a^2 E_1 + aHE_1 - K \cdot a \cdot b. \end{aligned}\right\} \tag{22a}$$

Für die Düngerbedarfsrechnung wird nur die Krumenschicht zugrunde gelegt, da in ihr die Jugendentwicklung und damit die Zeit der stärksten Nährstoffaufnahme stattfindet. Maßgebend für die Größe der zur Erzielung eines bestimmten Effektes nötigen Düngergabe ist die Größe von S, wie nach den Gesetzen des Basenaustausches auch nicht anders zu erwarten ist.

Das von uns abgeleitete Gleichungssystem ermöglicht eine fast quantitative Beurteilung der Wirkung einer gegebenen Düngung, wobei allerdings das Optimum der Wasserversorgung eine unumgängliche Voraussetzung ist.

Wenn hier die Einschränkung der „fast quantitativen Beurteilung" gemacht wird, so geschieht dieses deshalb, weil es nach unserem Dafürhalten niemals möglich sein wird, von der auf dem Felde gezogenen Probe einwandfreie quantitative Rückschlüsse auf den ganzen Acker zu ziehen. Für die Probe selbst ist eine vollkommen quantitative Beurteilung nach den oben gegebenen Ausführungen möglich.

Die Beurteilung der Böden auf Grund einer solchen Untersuchung dürfte viele nutzlose Feldversuche mit ihren hohen Kosten überflüssig machen und ganz allgemein für richtige Versuchsanstellung die entscheidende Richtung bezüglich der Art und Menge der anzuwendenden Düngung weisen, da sich die Rechnung für alle Basen in gleicher Weise durchführen läßt.

Die nach der von uns angegebenen Methode aufgestellte Nährstoffbilanz eines Bodens gibt demnach die in einem gegebenen Bodenprofil verfügbaren löslichen und aus den Komplexen frei werdenden Nährstoffe bzw. Basen an unter Berücksichtigung der Wurzelverbreitung und der Wasserbeweglichkeit. Diese Summe ist im Gegensatz zu den mit Grenzzahlen arbeitenden Bewertungen kein relativer Wert, sondern eine tatsächliche Lieferungszahl. Als solche ist sie nicht mit irgendwelchen angenommenen konventionellen Grenzzahlen, sondern mit den tatsächlich in einer Saison von der Pflanze benötigten Nährstoffmengen, die aus den Aschenanalysen bekannt sind, zu vergleichen. Ein Boden wird, wenn diese Gedankengänge richtig sind, auf eine Düngung nicht reagieren, wenn die Lieferung aus dem natürlichen Bodenvorrat größer ist als der Bedarf oder dem Bedarf gleichkommt. Ist das Gegenteil der Fall, so ergibt die bestehende Differenz das direkte Maß der Nährstoffe,

die zur Erzielung des Höchstertrages im Boden der Pflanzenwurzel durch Düngung zugänglich zu machen sind. Jede Subjektivität der Schätzung der Düngung ist damit ausgeschaltet und die Beurteilung der Düngungsfrage auf eine rechnerische Grundlage gestellt. Sie gestattet gleichzeitig die Erkenntnis, ob in einem Boden die einzelnen Basen untereinander im Mißverhältnis stehen, und gibt die Möglichkeit, außer der Düngemittelmenge auch die geeignete Düngemittelform zu bestimmen.

k) Beispiel einer Bodenbeurteilung auf Grund der physikalisch-chemischen Bodenuntersuchung.

Um zu zeigen, wie die Beurteilung der in einem gegebenen Bodenprofil für die Pflanze zur Verfügung stehenden Nährstoffmengen und die Berechnung der für Höchsterträge notwendigen Düngung auf Grund der von uns entwickelten Gedankengänge durchgeführt wird, dürfte es am zweckmäßigsten sein, ein Beispiel einer solchen Auswertung der durch die Analyse des Bodens erhaltenen Daten für die Feststellung der Wasser- und Basenbilanz des Bodens durchzuführen. Die von uns an einem bestimmten Boden vorgenommenen Untersuchungen mögen die in Tabelle 14 und 15 zusammengestellten Daten ergeben haben.

Der Strukturfaktor der einzelnen Schichten berechnet sich nach der Formel

$$\frac{\text{Ton I} - \text{Ton II}}{\text{Ton I}} \cdot 100 \qquad (1)$$

für die Schicht

$$0\text{—}30 \text{ cm zu } \frac{24{,}9 - 4{,}2}{24{,}9} \cdot 100 = 83\%$$

$$30\text{—}50 \quad „ \quad „ \quad 87\%$$

$$50\text{—}80 \quad „ \quad „ \quad 71\%$$

Da der Strukturfaktor hoch ist, ist der Boden in natürlicher Lagerung gut koaguliert.

Das hygroskopische Wasser ergibt sich aus der Formel

$$Hy = 0{,}44\left[T - 0{,}5\left(\frac{\text{Ca}}{2} + \frac{\text{Mg}}{2}\right)\right]. \qquad (2)$$

Tabelle 14. Physikalische Untersuchung des Bodens.

Zeichen und Nummer der Probe	In % der Trockensubstanz, mechanische Zusammensetzung								Minim. Wasser-kapazität	Steighöhe in cm		Lineare Schrumpfung bei Ausgang von			
	Grobsand I	Feinsand I	Schluff I	Ton I	Grobsand II	Feinsand II	Schluff II	Ton II	%	Endsteighöhe	1000 · q	Vol.-% feste Teile	Vol.-% Wasser	Vol.-% Luft	% lineare Schrumpfung
1. 0—30 cm	6,2	36,9	32,0	24,9	6,5	63,7	25,6	4,2	43,1	31,3	60	44	49	7	8,0
2. 30—50 cm	8,8	41,5	28,1	21,6	9,8	68,4	18,9	2,9	40,1	45,5	20	48	43	9	6,0
3. 50—80 cm	4,0	40,0	28,0	28,0	4,0	48,0	40,0	8,0	45,0	12,4	89	44,4	52,2	3,4	9,2

Tabelle 15. Chemische Untersuchung des Bodens (Analysendaten).

Zeichen und Nummer der Probe	Zusammensetzung der löslichen Salze in Milliäquivalent					Zusammensetzung der Komplexsättigung in Milliäquivalent													V
	Karbonate	Na	K	Mg/2	Ca/2	H	Al/3	Na	q_{Na}	K	q_K	Mg/2	q_{Mg}	Ca/2	q_{Ca}	S	q_S	T	%
1. 0—30 cm	—	0,20	0,02	—	0,36	4,08	—	0,58	51	1,20	25	2,68	11,0	17,57	1,68	22,03	1,34	26,11	84
2. 30—50 cm	—	0,25	0,01	0,02	0,30	3,66	—	0,50	50	1,50	17	2,12	11,9	13,67	1,85	17,79	1,42	21,45	83
3. 50—80 cm	0,15	0,76	0,05	0,07	1,20	1,08	—	2,50	12	2,00	15	7,50	4,0	18,00	1,67	30,00	1,00	31,08	97

Es beträgt für die Schicht

0—30 cm: $0{,}44\,[26{,}11 - 0{,}5\,(17{,}57 + 2{,}68)] = 7{,}0\,\%$
30—50 cm: 6,0 %
50—80 cm: 8,1 %

Das tote Wasser ist verschieden nach dem Wurzelsaugdruck der angebauten Frucht, der für Weizen zu 10 atm, Rüben 15 atm, Kartoffeln 20 atm und Mais mit 25 atm angenommen wird. Zur Berechnung des toten Wassers dient die Formel

$$\text{Totes Wasser} = A \cdot Hy + \frac{33{,}6\left(\text{Na} + \text{K} + \frac{\text{Mg}}{2}\right)}{\text{Wurzelsaugdruck in atm}}, \qquad (6)$$

worin A nach Diagramm Abb. 9 für Weizen zu 2,25, Rüben zu 1,8, Kartoffeln zu 1,6, Mais 1,4 zu setzen ist.

Für Weizen beträgt z. B. das tote Bodenwasser der Schicht

0—30 cm: $2{,}25 \cdot 7{,}0 + \frac{33{,}6(0{,}20 + 0{,}02)}{10} = 16{,}5\,\%$
30—50 cm: 14,4 %
50—80 cm: 21,2 %

Für die anderen Früchte ergeben sich folgende Werte für das tote Bodenwasser:

Schicht	Rüben	Kartoffeln	Mais
0—30 cm	13,1 %	11,6 %	10,1 %
30—50 cm	11,4 %	10,1 %	8,8 %
50—80 cm	16,6 %	14,4 %	12,5 %

Die Berechnung der kritischen Schichtdicke erfolgt aus kapillarer Steighöhe und ihrem Modul q nach der Formel:

$$Kr = E\,(1 - 0{,}447\,\sqrt{q}). \qquad (7)$$

Es ergibt sich

für die Schicht 0—30 cm $Kr = 31{,}3\,(1 - 0{,}447\,\sqrt{0{,}060}) = $ **27,9** cm
30—50 cm $Kr =$ **42,7** cm
50—80 cm $Kr =$ **10,8** cm

Das minimale Porenvolumen ergibt sich auf Grund der Beziehung

$$P_{min} = \frac{(100 - \text{lineare Schrumpfung})^3}{260 \cdot \text{Vol.-\% feste Substanz}} - 38 \qquad (5)$$

für die Schicht 0—30 cm zu $\frac{(100 - 8{,}0)^3}{260 \cdot 44} - 38 = 30{,}1$

30—50 cm $= 28{,}6$

50—80 cm $= 26{,}8$

Für das in 100 g Boden mögliche Wasser gilt

$$W_m = C_{min} - k\,(C_{min} - P_{min}), \qquad (8\text{a})$$

$$k = \frac{300\,x - x^2}{22\,500}, \qquad (8\text{b})$$

worin x der Abstand der Mittellage der Schicht von der Bodenoberfläche in Zentimetern ist.

Schicht 0—30 cm $W_m = 43{,}1 - \frac{300 \cdot 15 - 15^2}{22\,500}(43{,}1 - 30{,}1) = 40{,}6\,\%$

30—50 cm $W_m = 34{,}8\,\%$

50—80 cm $W_m = 32{,}6\,\%$

Die absoluten möglichen Wassermengen M_W, in cbm/ha und 1 cm Schicht ergeben sich zu

$$\text{mögliches Wasser } M_W = \frac{100 \cdot W_m}{38 + W_m}. \qquad (9)$$

Es sind vorhanden

in Schicht 0—30 cm: $M_W = \frac{100 \cdot 40{,}6}{38 + 40{,}6} = 52$ cbm/ha/cm

M_W für die ganze Schicht $= 30 \cdot 52 = 1560$ cbm/ha

in Schicht 30—50 cm: $M_W = \frac{100 \cdot 34{,}8}{38 + 34{,}8} = 48$ cbm/ha/cm

M_W für die ganze Schicht $= 20 \cdot 48 = 960$ cbm/ha

in Schicht 50—80 cm: $M_W = \frac{100 \cdot 32{,}6}{38 + 32{,}6} = 46$ cbm/ha/cm

M_W für die ganze Schicht $= 30 \cdot 46 = 1380$ cbm/ha

M_W für das ganze Profil $= 1560 + 960 + 1380 = 3900$ cbm/ha

Das in den einzelnen Schichten statisch verfügbare Wasser St ergibt sich auf 100 g Trockensubstanz bezogen zu

$$St\,\% = W_m - \text{totes Wasser}. \tag{10}$$

Es ist verfügbar in

Schicht 0—30 cm: $St = 40{,}6 - 13{,}1 = 27{,}5\,\%$
„ 30—50 cm: $St = 34{,}8 - 11{,}4 = 23{,}4\,\%$
„ 50—80 cm: $St = 32{,}6 - 16{,}6 = 16{,}0\,\%$

Das statisch verfügbare Wasser in cbm/ha und 1 cm Schicht ergibt sich zu

$$St_W = \frac{St \cdot M_W}{W_m}. \tag{11}$$

Schicht 0—30 cm: $St_W = \frac{27{,}5 \cdot 52}{40{,}6} = 35$ cbm/ha/cm

St_W für die ganze Schicht $= 30 \cdot 35 = 1050$ cbm/ha

Schicht 30—50 cm: $St_W = \frac{23{,}4 \cdot 48}{34{,}8} = 32$ cbm/ha/cm

St_W für die ganze Schicht $= 20 \cdot 32 = 640$ cbm/ha

Schicht 30—80 cm: $St_W = \frac{16{,}0 \cdot 46}{32{,}6} = 23$ cbm/ha/cm

St_W für die ganze Schicht $= 30 \cdot 23 = 690$ cbm/ha

St_W für das ganze Profil $= 1050 + 640 + 690 = 2380$ cbm/ha

Das dynamisch verfügbare Wasser berechnet sich in cbm/ha und Schicht,

wenn die Schichtdicke in der Natur größer ist als die doppelte kritische Schichtdicke, zu

$$Dy = 2 \cdot \text{kritische Schichtdicke} \cdot St_W. \tag{12}$$

Ist die Schichtdicke in der Natur kleiner als die doppelte kritische Schichtdicke, so ist das statisch verfügbare Wasser auch dynamisch nutzbar.

Schicht 0—30 cm: Dynam. verfügb. Wasser $30 \cdot 35 = 1050$ cbm/ha
„ 30—50 cm: „ „ „ $20 \cdot 32 = 640$ cbm/ha
„ 50—80 cm: „ „ „ $2 \cdot 10{,}8 \cdot 23 = 500$ cbm/ha

Dynamisch verfügbares Wasser für das ganze Profil

$1050 + 640 + 500 = 2190$ cbm/ha.

Da für 1 t Trockensubstanz ca. 400—600 t Wasser benötigt werden, genügt die im betrachteten Boden vorhandene Wassermenge für die Erzeugung von 3,5—5,5 t Trockensubstanz.

Die aus der Bodenlösung verfügbare Basenmenge in Kiloäquivalent pro Hektar und Schicht ist:

$$B_v = G_{tr} \cdot 0{,}01 \cdot \text{lösl. Base in Milliäquivalent} \cdot \text{anzurechnende Schichtdicke.} \qquad (14)$$

G_{tr} ist das Bodentrockengewicht in Tonnen pro Hektar und 1 cm Schicht.

Das Gewicht G_{tr} an Trockensubstanz pro Zentimeter Schichtdicke und Hektar erhält man, wenn man das spezifische Gewicht des Bodens mit 2,6 einsetzt,

$$G_{tr} = 2{,}6(100 - M_W) \text{ in Tonnen.}$$

Die Summe der in einer bestimmten Schicht aus den Komplexen verfügbar werdenden Basenmenge in Kiloäquivalent pro Hektar ist:

$$N_v = \frac{m \cdot H \cdot S}{S(m + q_S - 1) + H}, \qquad (18)$$

m = Vielfaches von 100 t Bodentrockensubstanz für die betreffende Schicht,

H = die durch die Pflanze aktivierte Wasserstoffionenmenge in Kiloval (in der Rechnung mit 2 zu multiplizieren).

Für die einzelnen Basen Na, K, Mg und Ca gilt:

$$\text{Verfügbares Natrium} = Na_v = \frac{q_S}{q_{Na}} \cdot \frac{m \cdot H \cdot S}{S(m + q_S - 1) + H}, \qquad (19a)$$

$$\text{,, Kalium} = K_v = \frac{q_S}{q_K} \cdot \frac{m \cdot H \cdot S}{S(m + q_S - 1) + H},$$

$$\text{,, Magnesium} = Mg_v = \frac{q_S}{q_{Mg}} \cdot \frac{m \cdot H \cdot S}{S(m + q_S - 1) + H},$$

$$\text{,, Calzium} = Ca_v = \frac{q_S}{q_{Ca}} \cdot \frac{m \cdot H \cdot S}{S(m + q_S - 1) + H}.$$

Wir nehmen an, daß die betreffende Pflanze 25 Kiloäquivalent H während der Vegetationsperiode aktiviert und daß einmal das ganze Profil (Fall A) und zum andern Male nur die Krumenschicht (Fall B) durchwurzelt ist.

G_{tr} für Schicht 0—30 cm: 2,6 (100 − 52) = 125 t/ha/cm
G_{tr} „ „ 30—50 cm: 2,6 (100 − 48) = 135 t/ha/cm
G_{tr} „ „ 50—80 cm: 2,6 (100 − 46) = 140 t/ha/cm

Fall A: Verfügbare Kalimenge aus Lösung

Schicht 1:	125 · 0,01 · 0,02 · 30 = 0,75	Kiloäquivalent
„ 2:	135 · 0,01 · 0,01 · 20 = 0,27	„
„ 3:	140 · 0,01 · 0,05 · 21,6 = 1,51	„
	Summe 2,53	Kiloäquivalent

Verfügbare Magnesiamenge aus Lösung

Schicht 1:	0	Kiloäquivalent
„ 2:	135 · 0,01 · 0,02 · 20 = 0,54	„
„ 3:	140 · 0,01 · 0,07 · 21,6 = 2,12	„
	Summe 2,66	Kiloäquivalent

Verfügbare Kalimenge aus Komplex:

Die von den Pflanzen aktivierte H-Menge verteilt sich auf die drei Schichten im Verhältnis ihrer Mächtigkeit:

Schicht 1 = 10,4 Kiloäquivalent
„ 2 = 7,0 „
„ 3 = 7,6 „

Schicht 1: $\frac{1,34}{25} \cdot \frac{37,5 \cdot 2 \cdot 10,4 \cdot 22,03}{22,03\,(37,5 + 1,34 - 1) + 2 \cdot 10,4} = 1,08$ Kiloäquivalent

„ 2: $\frac{1,42}{17} \cdot \frac{27 \cdot 2 \cdot 7,0 \cdot 17,79}{17,79\,(27 + 1,42 - 1) + 2 \cdot 7,0} = 1,12$ „

„ 3: $\frac{1,00}{15} \cdot \frac{30,2 \cdot 2 \cdot 7,6 \cdot 30,00}{30,00\,(30,2 + 1,00 - 1) + 2 \cdot 7,6} = 1,00$ „

Summe 3,20 Kiloäquivalent

Verfügbare Magnesiamenge aus Komplex:

Schicht 1: $\frac{1,34}{11,0} \cdot \frac{37,5 \cdot 2 \cdot 10,4 \cdot 22,03}{22,03\,(37,5 + 1,34 - 1) + 2 \cdot 10,4} = 2,45$ Kiloäquivalent

„ 2: $\frac{1,42}{11,9} \cdot \frac{27 \cdot 2 \cdot 7,0 \cdot 17,79}{17,79\,(27 + 1,42 - 1) + 2 \cdot 7,0} = 1,59$ „

„ 3: $\frac{1,00}{4,0} \cdot \frac{30,2 \cdot 2 \cdot 7,6 \cdot 30,00}{30,00\,(30,2 + 1,0 - 1) + 2 \cdot 7,6} = 3,72$ „

Summe 7,76 Kiloäquivalent

Die im ganzen Profil aus Lösung und Komplex verfügbar werdenden Kali- und Magnesiamengen sind also:

$2{,}53 + 3{,}20 = 5{,}73$ Kiloäquivalent K oder 270 kg K_2O
$2{,}66 + 7{,}76 = 10{,}42$ „ Mg „ 210 „ MgO

Fall B:

Nur die Krumenschicht ist durchwurzelt.
Verfügbare Kalimenge aus Lösung $= 0{,}75$ Kiloäquivalent
„ Magnesiamenge aus Lösung $=$ — „
„ Kalimenge aus Komplex:

$$K_v = \frac{1{,}34}{25} \cdot \frac{37{,}5 \cdot 2 \cdot 25 \cdot 22{,}03}{22{,}03\,(37{,}5 + 1{,}34 - 1) + 2 \cdot 25} = 2{,}51 \quad „$$

Verfügbare Magnesiamenge aus Komplex:

$$Mg_v = \frac{1{,}34}{11{,}0} \cdot \frac{37{,}5 \cdot 2 \cdot 25 \cdot 22{,}03}{22{,}03\,(37{,}5 + 1{,}34 - 1) + 2 \cdot 25} = 5{,}71 \quad „$$

Die in der Krumenschicht aus Lösung und Komplex verfügbar werdende Kali- und Magnesiamenge ist also:

$0{,}75 + 2{,}51 = 3{,}26$ Kiloäquivalent K oder 150 kg K_2O
$0 + 5{,}71 = 5{,}71$ „ Mg „ 115 „ MgO

Die Berechnung der für einen vorausgesetzten Ernteentzug erforderlichen Kalimenge unter Berücksichtigung der Festlegung durch die Bodenkomplexe ist im folgenden gegeben:

S = Basensumme im Komplex in Kiloäquival./100 t Bodentrockensubstanz,
q_S = Sorptionsmodul,
K = sorptiv gebundenes Kali in Kiloäquival./100 t vor der Düngung,
q_K = Sorptionsmodul des K (vor der Düngung),
m = Vielfaches von 100 t Bodentrockensubstanz für die der Berechnung zugrunde liegende Schicht und Hektar,
D = die zur Düngung für einen vorausgesetzten Ernteentzug erforderliche Kalimenge in Kiloäquivalent je Hektar,
E = Ernteentzug in Kiloäquivalent je Hektar,
F = die durch die Bodenkomplexe festgelegte Kalimenge in Kiloäquivalent je Hektar und Schicht,

K_l = lösliches K in Kiloäquivalent je Hektar und Schicht,
K_v = aus den Bodenkomplexen verfügbar werdende Kalimenge,
H = die durch die Pflanze aktivierte Wasserstoffionenmenge in Kiloäquivalent (in der Rechnung mit 2 zu multiplizieren, da der q-Wert des H-Eintausches sich zu dem des NH_4 wie 1 : 2 verhält).

Der Ernteentzug E muß gleich dem nach der Düngung aus den Komplexen verfügbar werdenden Kali K_v plus dem nach der Düngung in Lösung bleibenden Rest R sein:

$$E = K_v + R. \qquad (20)$$

Der Wert E ist um die vor der Düngung in der betreffenden Schicht in Lösung befindlichen Kalimenge zu vermindern, so daß der zusätzliche Kalibedarf E_1 wird:

$$E_1 = E - K_l. \qquad (21)$$

Die von einer Kalimenge D durch die Bodenkomplexe festgelegte Menge F ist:

$$F = \frac{m \cdot D \cdot S}{S(m + q_S - 1) + D}. \qquad (15)$$

Der in Lösung verbleibende Rest ist:

$$R = D - F. \qquad (16)$$

Die durch die von den Pflanzen aktivierten Wasserstoffionen aus den Komplexen verfügbar werdende Kalimenge vor der Düngung ist:

$$K_v = \frac{q_S}{q_K} \cdot \frac{m \cdot H \cdot S}{S(m + q_S - 1) + H} \qquad (19a)$$

und nach der Düngung:

$$K_v = \frac{q_S}{\dfrac{q_S \cdot S}{K + \dfrac{F}{m}}} \cdot \frac{m \cdot H \cdot S}{S(m + q_S - 1) + H}, \qquad (19b)$$

da das q_K nach der Düngung

$$\frac{q_S \cdot S}{K + \dfrac{F}{m}}$$

ist. $\frac{F}{m}$ ist der pro 100 t Bodentrockensubstanz festgelegte Anteil der Düngermenge D.

Es ist also, eingesetzt in die Gleichung $K_v + R = E$:

$$\frac{\frac{q_S}{q_S \cdot S} \cdot \frac{m \cdot H \cdot S}{S(m + q_S - 1) + H} + \left(D - \frac{m \cdot D \cdot S}{S(m + q_S - 1) + D}\right)}{K + \frac{F}{m}} = E_1 . \qquad (22)$$

Zur vereinfachten Umformung der Gleichung setzt man:

$$S(m + q_S - 1) = a$$
$$m \cdot H = b$$
$$m \cdot S = c$$

und erhält:

$$\left.\begin{aligned} D^2(a + H) + D(K \cdot b + a^2 + a \cdot H - a \cdot c - a \cdot E_1 - H \cdot E_1) \\ = a^2 \cdot E_1 + a \cdot H \cdot E_1 - K \cdot a \cdot b . \end{aligned}\right\} \qquad (22a)$$

Bei der Auflösung der Gleichung nach D erhält man die erforderliche Düngermenge in Kiloäquivalent pro Hektar.

Der Ernteentzug soll 5,0 Kiloäquivalent K betragen und die aktivierte H-Menge 25,0 Kiloäquivalent je Hektar. Die Bewurzelungstiefe ist mit rund 30 cm angenommen.

$S = 22{,}03 \qquad q_S = 1{,}34$
$K = 1{,}20$
$m = 37{,}5$
$E_1 = 5{,}0 - 0{,}75 = 4{,}25$
$H = 2 \cdot 25{,}0$
$a = 22{,}03\,(37{,}5 + 1{,}34 - 1) = 834$
$b = 37{,}5 \cdot 2 \cdot 25 = 1875$
$c = 37{,}5 \cdot 22{,}03 = 826$

$$(834 + 50)\,D^2 + (1{,}20 \cdot 1875 + 834^2 + 834 \cdot 50 - 834 \cdot 826$$
$$- 834 \cdot 4{,}25 - 50 \cdot 4{,}25)\,D$$
$$= 834^2 \cdot 4{,}25 + 834 \cdot 50 \cdot 4{,}25 - 1{,}20 \cdot 1875 \cdot 834$$

$D = 19{,}6$ Kiloäquivalent je Hektar
$= 920$ kg K_2O.

Zusammenfassung.

Die Untersuchung des Düngerbedarfes der Böden nach der Lichterfelder Methode beruht auf dem Grundsatz, daß in einem Boden alle den Pflanzenertrag beeinflussenden Faktoren ein großes Ganzes bilden und daher nur im Zusammenhang beurteilt werden dürfen. Der Boden wird daher einer physikalischen und chemischen Gesamtbeurteilung unterworfen. Maßgebend ist bei dieser der Gesichtspunkt, daß nicht nur die tatsächlich vorhandene augenblickliche Zusammensetzung des Bodens bestimmt wird, sondern vor allem die Gesetzmäßigkeiten, nach denen die Gleichgewichtsverhältnisse zwischen Boden und Bodenlösung einerseits, und Bodenlösung und Pflanzenwurzeln anderseits sich verändern. Die Ermittelung dieser Gesetzmäßigkeiten ermöglicht es, eine Nährstoffbilanz des Bodens aufzustellen.

Bei der Untersuchung der Bodenproben im Laboratorium wird zunächst Wert darauf gelegt, den Wasserhaushalt des Bodens zu ermitteln. Es wird angestrebt, festzustellen, wieviel ein Boden von einer ihm zugeführten Wassermenge aufspeichert (minimale Wasserkapazität), wieviel er von dem festgehaltenen Wasser an die Pflanze abgibt (statisch verfügbares Wasser) und wie sich die an den Pflanzenwurzeln vollziehende Entnahme von Wasser aus dem Boden durch Nachlieferung aus der Umgebung wieder ausgleicht (dynamisch verfügbares Wasser).

Zur Bestimmung dieser Eigenschaften des Bodens dienen verschiedene physikalische Untersuchungen. Eine mechanische Bodenanalyse, welche mit und ohne Peptisation vorgenommen wird, läßt Tongehalt und Struktur des Bodens erkennen. Die Bestimmung der minimalen Wasserkapazität läßt die Wassermengen erkennen, die von einem Boden gegenüber dem Einfluß der Schwere festgehalten werden. Die Lagerungsdichte des Bodens, d. h. seine Zusammensetzung aus festen Teilchen, Wasser und Luft, wird durch Bestimmung der linearen Schrumpfung ermittelt. Ein Bild von der Menge des toten Wassers, welches vom Boden so fest adsorbiert ist, daß die Saugkräfte der Pflanzenwurzeln nicht ausreichen, um dieses Wasser aufzunehmen, gibt die Bestimmung des hygroskopischen Wassers. Das statisch verfügbare Wasser berechnet sich als Differenz zwischen dem Wassergehalt des Bodens und einem Mehrfachen des toten Wassers. Als Maß für die Geschwindigkeit,

mit welcher sich das Wasser im Boden nach den Wurzeln hinbewegt, gilt die Bestimmung der kapillaren Steighöhe. Mit Hilfe der kapillaren Steighöhe läßt sich die Dicke der Bodenschicht berechnen, aus der das Wasser noch mit einer für das Wachstum der Pflanzen ausreichenden Geschwindigkeit den Pflanzenwurzeln zuströmt.

Die physikalische Bodenuntersuchung dient zwar in erster Linie als Grundlage für die Beurteilung des Wasserhaushaltes eines Bodens, sie ist aber auch für die Aufstellung einer Nährstoffbilanz notwendig.

Weitere Unterlagen für die Nährstoffbilanz werden durch chemische Untersuchungen geliefert. Bei diesen Untersuchungen handelt es sich darum, festzustellen, ob der Nährstoffgehalt des Bodens für die Ansprüche einer auf diesem Boden unter den gegebenen Verhältnissen unter günstigen Bedingungen möglichen Höchsternte ausreichend ist oder nicht. Welche Menge von Nährstoffen für die Erzielung einer solchen Ernte benötigt wird, ist für die meisten Kulturpflanzen bekannt bzw. aus der Analyse der Ernteprodukte und der Erntemenge festzustellen. Mit hinreichender Genauigkeit sind auch die Geschwindigkeiten bekannt, mit welchen die Nährstoffe in die wachsende Pflanze eintreten. Als Quellen, aus denen die Pflanze ihren Nährstoffbedarf bestreitet, kommen in Frage: die Bodenlösung und die Bodenkolloide. Die mineralischen Teile des Bodengerüstes, die an und für sich auch als Nährstofflieferanten dienen könnten, spielen unter unseren klimatischen Verhältnissen eine geringe Rolle.

Was die in erster Linie für die Versorgung der Pflanze in Betracht kommende Bodenlösung, das „flüssige Kapital" des Bodens, betrifft, so erfordert die Beurteilung der Nährstoffzufuhr aus dieser Quelle, daß man sowohl den Nährstoffgehalt wie auch die für die Pflanze aufnehmbare Menge der Bodenlösung kennt. Der Nährstoffgehalt wird durch eine Analyse eines wässerigen Bodenauszuges bestimmt, wobei darauf zu achten ist, daß der angewandte Wasserüberschuß so gering bemessen wird, als im Hinblick auf die Durchführung der analytischen Bestimmungen möglich ist.

Bei der Bestimmung der aufnehmbaren Gesamtmenge der Bodenlösung kommt für die Versorgung der Pflanzen mit Wasser und daher auch mit gelösten Nährstoffen nur eine Bodenschicht in Frage, die der doppelten kritischen Schichtdicke entspricht. Es wird also zur

7

Bewertung des löslichen Nährstoffgehaltes nicht eine konventionelle Krumentiefe schematisch angenommen, sondern eine für den betreffenden Boden individuell bestimmte Schichtdicke, welche angibt, aus welchem Bodenvolumen ein Wasserzufluß zur Wurzel noch mit ausreichender Geschwindigkeit möglich ist. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, daß ein Boden mit großer Beweglichkeit der Bodenlösung bei einem geringen Nährstoffgehalte der Bodenlösung nährstoffreich sein kann, während umgekehrt ein Boden mit sehr geringer Wasserbeweglichkeit nährstoffarm ist, obgleich er je 100 g einen hohen Gehalt an löslichen Nährstoffen aufweist. In dieser individuellen Behandlung der Böden bei der Auswertung der Analysenzahlen ist vielleicht ein wertvoller methodischer Fortschritt auf dem Gebiete der Bodenanalyse zu sehen.

Zu der Nährstoffversorgung aus der Bodenlösung tritt noch eine Nährstoffaufnahme aus den Bodenkolloiden hinzu, die dadurch bewirkt wird, daß die von den Wurzeln entwickelte Kohlensäure ihr Wasserstoffion gegen adsorbierte Kationen der Bodenkolloide umtauscht. Um zu wissen, welche Rolle diese Nährstoffquelle spielt, wird der Boden mit verschiedenen Mengen von Ammoniumchlorid behandelt, um die Grenzwerte der Sättigung des Bodens mit einwertigen und zweiwertigen Basen zu bestimmen.

Nach VAGELER vollzieht sich der Eintritt eines eintauschenden Ions nach der Hyperbelgleichung:

$$y = \frac{x \cdot S}{x + q \cdot S},$$

wobei x die Menge des eintauschenden Ions, y des verdrängten Ions, S = die Gesamtmenge der adsorbierten Basen und q eine Konstante ist. Durch Anwendung von $x_1 = 250$ bzw. $x_2 = 500$ ccm $^n/_5$-Chlorammoniumlösung auf 50 g Bodentrockensubstanz bekommt man 2 Werte y_1 und y_2, aus denen der Grenzwert S für die Gesamtsumme der adsorbierten Basen und der Sorptionsmodul q berechnet wird. Durch Analyse der beiden NH_4Cl-Auszüge bestimmt man auch für die einzelnen Basen Natrium, Kalium, Magnesium und Calcium unter Anwendung derselben Gleichungsform die Werte für S_{Na}, S_K usw., q_{Na}, q_K usw., welche ein Maß für die Austauschbarkeit der einzelnen Basen

beim Behandeln des Adsorptionskomplexes mit bestimmten Mengen von Wasserstoffionen abgeben. Die Menge von Wasserstoffionen, welche für diesen Zweck verfügbar ist, kann annähernd dem Basengehalt der auf der betreffenden Fläche wachsenden Pflanzen gleichgesetzt werden.

Der wasserlösliche Nährstoffgehalt der für die Ernährung der Pflanzen in Frage kommenden Schicht und die aus den Bodenkolloiden aufschließbaren Nährstoffmengen stellen die für das Wachstum der Ernte in einer Saison zur Verfügung stehende Nährstoffmenge dar und ermöglichen es, durch Vergleich mit dem Nährstoffbedarf der angebauten Frucht ein eventuelles Düngerbedürfnis festzustellen.

Von Bedeutung für die Bemessung der Kalidüngung ist dabei, daß die vorgesehene Bestimmung der S- und q-Werte für den Austausch der Kationen zugleich auch ein Bild davon gibt, bis zu welchem Grade das zugeführte Düngerkali vom Boden so fest adsorbiert wird, daß es nicht nur nicht mehr wasserlöslich ist, sondern auch von den Pflanzenwurzeln nur ganz wenig aufgeschlossen werden kann.

Auf einem Boden, auf welchem K sehr fest adsorbiert wird, kann unter Umständen ein Düngungsversuch zunächst keine Wirkung zeigen, aber nicht, weil der Boden zu kalireich ist, sondern weil er zuwenig an Kali gesättigt ist.

NUTRIENT AND WATER ECONOMY OF SOILS.

The farmer requires of a soil analysis that it can tell him which quantities of plant food a soil is capable of supplying to the plant under favorable weather conditions during its growing period and which additional quantities of plant food must be supplied in the form of fertilizers in order to meet the requirements of the crop. In order to fulfill these conditions, soil analysis should not be confined to the estimation of the solubility of the different nutrients in the soil under conventional laboratory conditions, but it must aim at discovering the functional relationships governing the supply of nutrients to the plant by the soil under given natural conditions. The amount of plant food which the soil can supply to the plant depends on a number of physical and chemical factors, particularly on its capacity for storing up moisture, on the freedom of water movement in the soil and on the fixation and liberation of plant food by exchange reactions with the soil colloids. The supply of potash to the plants is for instance not only dependent on the soil's content of available potash but is a function of a series of interdependent soil properties.

The Lichterfelde Method for the estimation of the manurial requirements of soils is based on the principle that all the factors influencing the yield are mutually dependent and can therefore only be considered in their relationship to one another. The soil therefore is subjected to a physical and chemical analysis. The main feature of this analysis is the fact that not only the actual composition of the soil at the moment of examination is estimated, but above all the functional relationships governing the changes in equilibrium between soil and soil solution on the one hand, and soil solution and plant roots on the other. The determination of these relationships makes it possible to draw up a nutrient balance sheet for the particular soil.

In the laboratory investigation of the soil samples, attention is first paid to a study of the water economy of the soil. This study involves three determinations namely, the amount of moisture which a soil is capable of storing up (moisture equivalent), the amount of moisture

capable of being supplied by the soil to the plant (static water) and the rate at which the soil moisture can move towards the plant roots (dynamic water).

These properties of the soil are determined by different physical methods. The mechanical analysis, carried out with and without deflocculation, indicates the clay content and the structure of the soil. The estimation of the moisture equivalent gives the quantity of moisture which a soil is capable of holding against the force of gravity. The compactness of the soil, i.e. its composition out of solid particles, moisture and air is deduced from its linear shrinkage. The hygroscopic moisture indicates the amount of water, which is absorbed in such a manner by the soil that the suction force of the plant roots is not sufficient to liberate it (inert water). The static water in the soil is calculated as the difference between the values for the water content and that for the inert water. The value of the capillary rise is a measure of the speed at which the soil moisture moves towards the plant roots. From this value the thickness of the soil layer, from which water is supplied at the rate necessary to ensure satisfactory growth, may be estimated.

The physical examination of the soil serves primarily as a criterion of the water economy of the soil; it is, however, also indispensable as a basis for the nutrient balance sheet of the soil. Further data for the calculation of the nutrient supply of the soil are obtained by chemical methods. The chemical analysis aims at determining whether the plant food content of the soil in question is sufficient to meet the requirements of a crop growing under favorable conditions. The quantities of the nutrients necessary to ensure maximum yields are known in the case of the more important crops and may be calculated from the analysis of the crops and the yield. The rate, at which the nutrients are absorbed by the growing plants are also known with sufficient accuracy. The chief sources from which the plant draws its nutrient supply are the soil solution and the soil colloids. The mineral components may also supply plant food to the crop, but their importance in this respect need only be considered under climatic conditions particularly favorable to weathering.

In order to calculate the quantities of nutrients which can be supplied by the soil solution it is necessary to know both its nutrient content

and the quantity of the soil solution accessible to the plant in a given time. The nutrient content is determined by the analysis of an aqueous extract of the soil, whereby care must be taken to avoid using an unnecessary excess of water.

The distance over which the plant can draw its supply of water and consequently of soluble nutrients depends upon the rate of water movement in the soil. This is a point which must be considered in the interpretation of the analytical results if reliable conclusions are to be arrived at, as the practice, often adopted, of calculating the nutrient content of the soil to a empirical depth does not yield comparable data. A soil in which water can move freely is capable of supplying more nutrients to the plant than one which offers greater resistance to water movement, although the content of soluble nutrients in the latter may be greater than in the former. Thus different soil types must be considered individually and the recognition of this fact constitutes a certain progress in the application of analytical results under practical conditions.

In addition to the soil solution the soil colloids have also to be considered as a source of nutrient supply to the plant. The absorption of nutrients from the soil colloids is effected in the following manner: - The plant roots excrete carbonic acid, thus producing free hydrogen ions which displace the absorbed bases in the soil colloids making them available to the plant roots. In order to ascertain the importance of this source of plant food in a given soil, a sample is treated with varying quantities of ammonium chloride solution and the degree of saturation of the soil in respect to univalent and divalent bases determined in this way.

According to VAGELER base-exchange takes place in accordance with the following hyperbolic equation:—

$$y = \frac{x \cdot S}{x + q \cdot S},$$

in which

$x =$ the quantity of the ion acting on colloidal complex,
$y =$ quantity of the ion displaced,
$S =$ the total content of absorbed bases and
$q =$ constant.

By using 250 c.c. ($=x_1$) and 500 c.c. ($=x_2$) of $^N/_5$ ammonium chloride solution with 50 gms of water-free soil, two values y_1 and y_2 are obtained from which the limiting value S for the sum total of the absorbed bases and that for the modulus of absorption q can be calculated. By analysis of the two ammonium chloride extracts and with the aid of the same equation the S and q values for the individual bases sodium, potassium, magnesium and calcium may be determined. These values indicate the amounts of the bases in question which are set free when the soil colloids are acted upon by different quantities of hydrogen ion. The amount of hydrogen ion available for this purpose under natural conditions may be taken as being approximately equal to the total content of bases in the crop growing on the soil in question. The sum of the water-soluble nutrients in the soil layers accessible to the plant and the quantities of nutrients which can be set free from the soil colloids represents the total amount of plant food available to the crop during one season and by comparing this value with the nutrient requirement of the crop in question it is possible to determine the fertiliser requirement of the crop under the given conditions.

The S and q values for the different cations afford a useful guide to the amounts of potassic fertilisers to be applied, as they indicate the extent to which the potassium content in the fertiliser will be absorbed by the soil in question and thus become unavailable to the plant.

If a fertiliser experiment be laid down on a soil which tends to absorb potassium energetically, applications of potash may at first show no effect, not because the soil is rich in potash but because the degree of saturation of the soil colloids with respect to potassium is too low.

2. Nachprüfung der Lichterfelder Methode an verschiedenen Bodenarten Hollands von bekanntem landwirtschaftlichem Wert.

Gute Möglichkeit zur Nachprüfung unserer Methode bietet für Böden der gemäßigten Zone Holland, das bei intensivster Kultur und vielen langjährig am selben Platze durchgeführten Düngungsversuchen ein vorzügliches Kontrollmaterial zu liefern in der Lage ist.

Von den diluvialen Böden des Landes wurden die folgenden in die Untersuchung einbezogen, von denen Dauerversuche der Kalimaatschappij Amsterdam vorlagen, die eine Kontrolle der Bodenanalysen ermöglichten.

1. Böden des gemengten Diluviums: Barlo Nr. 13—15, Groenlo Nr. 16—17 in der Provinz Gelderland.

2. Böden des sogenannten Sanddiluviums an der Moorgrenze: Bellingwolde Nr. 24/25 in der Provinz Groningen.

3. Böden des skandinavischen Diluviums an der Moorgrenze: Scheemda Nr. 22/23 in der Provinz Groningen.

Die Beschreibung der Profile ist in der Tabelle 1 enthalten.

I. Diluvialböden.

a) Die Böden von Barlo und Groenlo.

Teilweise ist Apatit als Einschluß in geringer Menge anwesend. Minerale der Pyroxen- und Amphibolgruppen treten so stark zurück, daß sie sich nicht in Prozenten ausdrücken lassen. Von einer irgendwie nennenswerten Mineralreserve ist, abgesehen von dem Kaligehalt der Orthoklase, keine Rede.

Auch Ca-Karbonat ist nur in Spuren im Grob- und Feinsand nachweisbar.

Dieser mineralogischen Armut entspricht durchaus die chemische Armut des Profiles, soweit es lösliche und sorptiv gebundene Basen anbelangt. Die Betrachtung der chemischen Verhältnisse knüpft am besten an das Profil B, O, C 13 (Tabelle 1 bis 4) an.

Nur in der durch die Kulturmaßnahmen verbesserten Krumenschicht bis 25 cm Tiefe ist die Reaktion praktisch neutral. Die anschließende

humose Sandschicht, die in ihrem unteren Teil die Andeutung eines beginnenden Illuvialhorizontes zeigt, ist sehr stark sauer (p_H 4,6 in Wasser und 3,9 in KCl-Ausschüttelung) und zeigt neben erheblichen

Tabelle 1. Bodenbeschreibung.

Zeichen und Nummer der Probe	Land	Provinz	Ort	Tiefe des Musters in cm	Farbe	Bemerkungen über den Bau des Profils und Grundwasserstand	Bemerkungen über Ertragsklasse, Fruchtfolge, Düngung, evtl. über natürliche Vegetation
B 13	Holland	Gelderland	Barlo	0–25	grauschwarz	Krumenschicht	Parzelle 15 Jahre ohne Kali, aber mit NP. 400 kg $NaNO_3$, 800 kg Thomasmehl pro ha.
O 13	„	„	„	25–50	„	Humoser Sand. Übergangsschicht von 10 cm anschließend	
C 13	„	„	„	60–90	gelbbraun	Mit Geröll gemengter gelber Moränensand	
B 14	„	„	„	0–25	grauschwarz		Seit 15 Jahren mit 1000 kg Patentkali gedüngt. Auf Volldüngungsparzellen kolossale K-Wirkung.
O 14	„	„	„	25–50	„		
B 15	„	„	„	0–25	„		Muster der Stallmistparzelle. Auf den ha 40000 kg Stallmist 16 Jahre gegeben.
O 15	„	„	„	25–50	„		
B 16	„	„	Groenlo	0–25	grau	Humose Krumenschicht	NP.
O 16	„	„	„	25–50	„	Humoser Sand, zwischen O 16 und C 16 angedeuteter Illuvialhorizont	
C 16	„	„	„	50–75	gelbbraun	Gelber Sand. Bewurzelungstiefe ± 15 cm, alte Wurzeln ± 40 cm	
B 17	„	„	„	0–25	grauschwarz		1500 kg Kali; ganz enormer Unterschied schon im ersten Jahr. Scharfe Reaktion der Zwiebeln, die nur 10 cm tief wurzeln.
O 17	„	„	„	25–50	„		
B 24	„	Groningen	Bellingwolde	0–25	gelbgrau	Lehmige Krume	Stark. Kalimangel, aber schneller Erfolg bei Kanariengras; Wurzeln nur in der Krumenschicht. Fruchtfolge: Weizen, Klee.
O 24	„	„	„	25–60	grau	Torfiger Sand als Untergrund	
B 25	„	„	„	0–25	graubraun	Krumenschicht	Starke Kaligabe.
B 22	„	„	Scheemda	0–30	„	Brauner Lehm, oxydiert schwer	Ungedüngtes Teilstück, keine Kaliwirkung.
O 22	„	„	„	30–50	grüngrau	Blaugeflammter Lehm	
C 22	„	„	„	50–70	grauschwarz	Moorboden, dann Sand mit Raseneisenstein darunter	
B 23	„	„	.	0–30	gelbgrau		Mit Kali: 250 kg K_2SO_4 pro ha, keine oder nur schwache Wirkung.

Mengen H (5,01 Milliäquivalent) auch 1,98 Milliäquivalent Al, was einer Gesamtaustauschazidität von 19,8 ccm entspricht. Im darunterliegenden sehr humusarmen Sande nimmt die Azidität wieder etwas ab.

Der Stickstoffgehalt beschränkt sich konform mit dem Humusgehalt — ausgedrückt in Totalkohlenstoff — auf die obersten beiden Bodenschichten bei ziemlich weitem C/N-Verhältnis. Phosphorsäure ist, wie es mit Sicherheit anzunehmen ist, als Ergebnis der langjährigen P_2O_5-Düngung in der Krumenschicht stark angereichert, sowohl was Totalphosphorsäure wie Phosphorsäure nach NEUBAUER angeht.

Die löslichen Salze bestehen in der Krumenschicht fast nur, in den tieferen Schichten ganz aus Na- und Ca-Verbindungen, wobei der sauren Reaktion entsprechend Karbonate gänzlich fehlen. Mg fehlt vollständig unter den löslichen Salzen, K kommt nur in der Krumenschicht mit 0,02 Milliäquivalent je 100 g Boden vor.

Höchst eigenartig, aber für Podsolböden typisch, ist die Entwickelung der sorptiven Komplexe im Profil. Die Totalmenge der sorbierten Basen ist schon in der Krume mit $S = 3,38$ sehr gering, wobei in Übereinstimmung mit HISSINKS Feststellungen über 80% auf Ca entfallen. An zweiter Stelle steht Na; Mg und ganz besonders K treten fast vollständig zurück. 59% der totalen Sorptionskapazität T werden vom Wasserstoffion eingenommen.

In der Zwischenlage von 25—50 cm erreicht S nur den praktisch kaum mehr mit Sicherheit feststellbaren Wert von 0,8 Milliäquivalent. Von der totalen Sorptionskapazität, die mit 7,79 Milliäquivalent nicht wesentlich geringer ist als die der Krumenschicht, werden durchaus entsprechend den Reaktionsverhältnissen 90% von H und Al in Anspruch genommen. Kalk ist nur in sehr geringer Menge vorhanden, aber dafür etwas mehr Na, Mg und auch K als in der Krumenschicht. Der tiefere Untergrund steht etwas günstiger da, wenn er auch entsprechend der Reaktion in der Sättigung noch weit hinter der Krumenschicht zurückbleibt.

Die physikalischen Eigenschaften des Bodens sind gekennzeichnet durch eine dem Charakter des Bodens entsprechende mittelmäßige minimale Wasserkapazität, die bei der geringen Hygroskopizität zu rund 70% noch nutzbar ist, und ferner durch eine für den Boden gute Wasserbeweglichkeit (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2. Physikalische Untersuchung des Bodens.

Zeichen und Nummer der Probe	In % Trockensubstanz Mechanische Zusammensetzung								Strukturfaktor	Hygroskopisches Wasser	Minimale Wasserkapazität	Totes Wasser für Kartoffeln	Kritische Schicht in cm	Wasser beweglichkeit	Steighöhe		Bei Ausgang von:			
	Grobsand I	Feinsand I	Schluff I	Ton I	Grobsand II	Feinsand II	Schluff II	Ton II							Total	1000 × q	feste Teile %	Wasser %	Luft %	Lineare Schrumpf. %
B 13	44.4	46,24	9,0	0,36	44,6	49,15	6,1	0,15	58	3,0	20,8	4,8	38,4	31,2	405	13	58	27	15	0,2
O 13	42,5	47,0	8,4	2,1	42,0	50,9	6,6	0,50	76	3,1	19,5	4,8	42,7	22,7	455	20	53	23	24	0,2
C 13	66,8	24,1	6,4	2,7	68,9	24,8	4,5	1,8	33	1,6	15,6	2,0	56,1	58,8	588	10	69	21	10	0
B 14	47,4	44,0	8,0	0,6	46,6	47,45	5,8	0,15	75	2,8	16,7	4,5	39,1	20,8	417	20	47	18	35	0
O 14	41,1	48,9	8,1	1,9	41,7	51,0	6,9	0,40	70	3,6	27,1	5,7	37,5	20,0	400	20	54	30	16	0
B 15	45,4	46,12	8,2	0,28	48,0	46,3	5,5	0,20	29	3,6	21,8	5,6	36,9	13,3	400	30	51	25	24	0
O 15	44,7	47,3	7,6	0,40	45,0	48,18	6,5	0,32	20	3,5	23,6	5,5	30,7	11,1	333	30	52	25	23	0
B 16	35,8	58,5	5,6	0,10	36,4	60,7	2,6	0,10	0	2,2	15,4	3,5	35,3	37,0	370	10	52	17	31	0
O 16	43,5	51,06	5,0	0,44	43,6	54,0	2,0	0,40	9	1,9	11,5	3,0	34,1	35,7	357	10	57	14	29	0
C 16	69,6	28,0	1,0	1,4	70,0	29,6	0,20	0,20	85	0,8	7,3	1,4	9,9	5,3	106	20	63	9	28	0
B 17	35,6	55,4	6,4	2,6	36,2	59,44	4,2	0,16	38	2,3	16,7	3,7	31,8	33,3	333	10	49	16	35	0
O 17	36,1	55,1	5,8	3,0	36,5	59,86	3,4	0,24	92	2,2	16,9	3,8	31,8	33,3	333	10	61	22	17	0
B 24	6,2	36,9	32,0	24,9	7,5	62,7	25,6	4,2	83	6,8	49,2	10,8	27,9	5,2	313	60	44	49	7	8,0
O 24	28,4	61,7	5,4	4,5	47,5	49,12	2,5	0,88	80	8,3	30,3	13,1	11,7	0,8	143	168	44	32	24	0
B 25	8,8	41,5	28,1	21,6	9,8	68,4	18,9	2,9	87	5,7	40,1	9,1	42,7	22,7	455	20	48	43	9	6,0
B 22	8,6	31,6	30,1	29,7	9,2	55,6	27,8	7,4	75	6,1	42,1	9,3	27,3	6,1	303	50	48	31	21	4,0
O 22	0,63	8,67	33,7	57,0	0,9	45,0	35,8	18,3	68	8,7	57,9	13,5	13,9	2,6	156	60	42	57	1	14,0
C 22	24,2	54,0	11,8	10,0	46,7	44,0	7,4	1,9	81	11,0	44,1	17,4	27,3	6,1	303	50	45	42	13	1,0
B 23	7,7	32,5	30,2	29,6	8,6	57,4	28,2	5,8	80	6,1	42,5	9,6	29,7	5,5	333	60	51	49	0	7,0

Tabelle 3. Mineralogische Untersuchung des Bodens.

Zeichen und Nummer der Probe	Korngröße mm	Zusammensetzung der Feinerde: Quarz	Orthoklas usw.	Plagioklas	Kaliglimmer	Magnesiaglimmer	Amphibole und Pyroxene	Apatit	Kalkkonkretionen	Eisenkonkretionen	Organische Reste	Holzkohle	Tierschalenreste
B 13	2—0,2	90			?						5	5	
	0,2—0,02	94	1	2	?	2	1						
O 13	2—0,2	99										1	
	0,2—0,02	92	2	2	1	2	1						
C 13	2—0,2	99	1										
	0,2—0,02	90	2	4	?	2	2						
B 14	2—0,2	93	1								4	2	
	0,2—0,02	93	2	1	?	2	2						
O 14	2—0,2	96	1	1								2	
	0,2—0,02	95	2	1		1	1		?				
B 15	2—0,2	80									10	10	
	0,2—0,02	95	2	1		1	?	1					
O 15	2—0,2	92									5	3	
	0,2—0,02	93	1	2	?	2	2	?					
B 16	2—0,2	86									10	4	
	0,2—0,02	94	1	1	?	2	2						
O 16	2—0,2	97								1		2	
	0,2—0,02	96	1	1	?	1	1						
C 16	2—0,2	98					2						
	0,2—0,02	93	?	2	?	2	3						
B 17	2—0,2	82				3					10	5	
	0,2—0,02	96	?	1		2	1						
O 17	2—0,2	92									5	3	
	0,2—0,02	92	1	2	1	2	2	?					
B 24	2—0,2	65								25	5	5	
	0,2—0,02	96	?	2		2	?						
O 24	2—0,2	94	?	?							6		
	0,2—0,02	96	?	2			?	?			1		?
B 25	2—0,2	Probe nicht ausreichend											
	0,2—0,02												
B 22	2—0,2	84								8	5	3	
	0,2—0,02	92	1	2	?	4	1						?
O 22	2—0,2	23							2	75			
	0,2—0,02	46	1	1	?	2	?			50			?
C 22	2—0,2	30								50		20	
	0,2—0,02	60	?	?		?	?			30		10	
B 23	2—0,2	85								10	5		
	0,2—0,02	76	?	?	1	5	3			10			5

Tabelle 4. Chemische Untersuchung des Bodens (Analysendaten).

Zeichen und Nummer der Probe	p_H		C	N	C/N	P_2O_5 %		Zusammensetzung der löslichen Salze in Milliäquivalent				Zusammensetzung der Komplexsättigung in Milliäquivalent													V	K in Milliäquivalent nach NEUBAUER
	in Wasser	in n-KCl	%	%		Total	nach NEUBAUER mg	Na	K	Mg/2	Ca/2	H	Al/3	Na	q_{Na}	K	q_K	Mg/2	q_{Mg}	Ca/2	q_{Ca}	S	q_S	T	%	
B 13	6,4	5,1	2,80	0,16	17	0,140	13,9	0,19	0,02	—	0,39	4,90	—	0,20	130	0,04	630	0,08	310	3,06	8,2	3,38	7,42	8,28	41	0,10
O 13	4,6	3,9	2,86	0,15	19	0,060	3,1	0,12	<0,01	—	0,16	5,01	1,98	0,27	89	0,08	300	0,34	71	0,11	220	0,80	30	7,79	10	0,09
C 13	4,9	4,1	1,09	0,04	27	0,045	2,8	0,11	<0,01	—	0,17	2,19	1,12	0,20	130	0,04	650	0,24	110	0,82	32	1,30	20	4,61	28	0,01
B 14	5,1	4,7	3,04	0,17	18	0,132	11,9	0,20	0,04	—	0,55	4,45	0,31	0,27	100	0,15	190	0,20	140	2,18	12,8	2,80	10	7,56	37	0,43
O 14	4,8	4,1	3,20	0,16	20	0,077	1,2	0,18	0,04	—	0,27	6,22	1,19	0,23	130	0,17	180	0,14	210	0,96	31	1,50	20	8,91	17	0,33
B 15	4,9	4,0	4,33	0,23	19	0,126	12,2	0,10	0,03	—	0,17	6,02	0,99	0,30	74	0,28	80	0,13	170	1,73	12,8	2,44	9,10	9,45	26	0,38
O 15	4,9	3,8	3,25	0,18	18	0,063	4,7	0,15	0,04	—	0,16	5,88	1,93	0,17	120	0,22	91	0,44	46	0,49	42	1,32	15,16	9,13	14	0,32
B 16	5,2	4,2	2,93	0,11	27	0,075	7,8	0,12	0,01	—	0,17	3,63	0,48	0,12	210	0,12	210	?	?	1,46	17,5	1,70	15	5,81	29	0,18
O 16	5,0	4,0	2,64	0,08	33	0,066	3,8	0,13	0,03	—	0,13	2,93	1,45	0,21	140	0,15	200	0,16	190	0,07	400	0,59	50	4,97	12	0,33
C 16	5,4	4,4	0,92	0,02	46	0,017	3,3	0,13	0,01	—	0,09	1,21	0,51	0,16	125	0,05	400	?	?	0,19	110	0,40	50	2,12	19	0,01
B 17	5,6	4,7	2,59	0,15	17	0,110	10,1	0,19	0,02	—	0,21	3,73	0,12	0,30	79	0,17	140	0,07	340	1,71	14,0	2,25	10,6	6,10	37	0,21
O 17	4,6	4,1	2,36	0,10	24	0,061	3,8	0,29	0,04	—	0,36	3,66	0,84	0,26	72	0,10	190	0,12	160	0,77	24	1,25	15	5,75	22	0,15
B 24	6,0	5,1	4,64	0,37	13	0,099	4,6	0,43	<0,01	—	0,36	4,08	—	0,58	51	0,19	160	2,68	11,0	18,58	1,6	22,03	1,34	26,11	84	0,33
O 24	5,2	4,5	5,66	0,57	10	0,033	—	0,53	0,01	—	0,44	13,37	0,29	0,35	77	0,07	380	1,51	17,8	8,22	3,3	10,15	2,65	23,81	43	0,29
B 25	6,0	5,2	3,17	0,31	10	0,111	—	0,37	0,02	—	0,37	3,66	—	0,50	50	0,32	80	2,12	11,9	14,85	1,7	17,79	1,42	21,45	83	0,59
B 22	5,1	3,9	1,98	0,21	9	0,110	2,4	0,17	0,01	—	0,17	4,80	2,10	0,37	37	0,39	35	3,06	4,5	10,30	1,3	14,12	0,98	21,02	67	0,50
O 22	5,5	4,3	1,66	0,17	10	0,052	2,3	0,29	<0,01	—	0,20	4,29	0,30	0,80	35	0,34	82	8,59	3,2	19,77	1,4	29,50	0,94	34,09	86	0,59
C 22	5,2	4,3	5,80	0,50	12	0,042	—	0,62	0,02	0,56	1,11	16,34[1]	—	0,49	83	0,14	290	3,54	11,4	12,41	3,3	16,58	2,44	32,92	50	0,57
B 23	5,1	4,0	1,96	0,21	9	0,112	4,9	0,31	0,01	—	0,16	5,21	1,41	0,40	34	0,41	33	2,85	4,8	10,67	1,3	14,33	0,96	20,95	68	0,57

[1]) H + Al/3.

Bei der Aufstellung der Nährstoffbilanz kommt bei diesem Boden eine Lieferung aus Mineralien nicht in Frage, aber auch die Lieferung aus den Komplexen ist nur gering. Phosphorsäure und Stickstoff sind dem betreffenden Felde, wie aus der Beschreibung hervorgeht, neben Kalk seit 15 Jahren regelmäßig zugeführt worden, und zwar in Mengen von 800 kg Thomasmehl und 400 kg Chilesalpeter je Hektar. Außer schwachem Anteil an Magnesia ist weiter, nach den Gehaltszahlen zu schließen, K unbedingt im Minimum.

Sowohl bei der Krumenschicht wie der Zwischenschicht ist die doppelte kritische Schichtdicke weit größer als die Mächtigkeit der wirklichen Schicht. Es sind also deshalb die Profilschichten voll in Anrechnung zu bringen. Tatsächlich haben, wie aus der Beschreibung — Tabelle 1 — hervorgeht, die Wurzeln der in diesem Jahre als Versuchspflanze angebauten Kartoffeln nicht das ganze Profil, sondern kaum die Krumenschicht durchwurzelt, was bei der Beschaffenheit der Zwischenschicht auch keineswegs besonders wundernehmen kann. Die Anrechnung dieser Schichten ist in diesem Fall ohnehin belanglos, weil nachweisbare Mengen löslichen Kalis sich weder in der Zwischenschicht noch im Untergrunde befinden.

Die für die Saison verfügbare K-Lieferung des Profils ist $0{,}02 \cdot 1{,}5 \cdot 25 = 0{,}75$ Kiloäquivalent K. Da zur Erzeugung von 1 Tonne Kartoffeln unter den Verhältnissen Hollands rund 0,08—0,1 Kiloäquivalent K erforderlich sind, würde hinsichtlich der K-Versorgung dieses Feldes die Produktion von ungefähr 7—8000 Kilo Kartoffeln pro Hektar im obigen Sinne möglich sein, wenn die gemachten Annahmen über die Verfügbarkeit der Nährstoffe und speziell des Kalis im Boden zu Recht bestehen. Da die Untersuchung nach der Vegetationszeit der Kartoffeln erfolgt war, also nach Nutzung des Bodens, waren rund 10000 kg Kartoffeln in der Ernte zu erwarten gewesen.

Der Düngungsversuch ergab auf dieser Parzelle 6950 kg Kartoffeln je Hektar, d.h. eine geringere Ernte, als nach der Kaliversorgung vorauszusehen war.

Wie die örtliche Besichtigung des Profils ergab, war nur die oberste Krumenschicht von den Wurzeln durchsetzt, und es kann daher für die Versorgung der Pflanze natürlich nur die in dieser Schicht enthaltene Nährstoffmenge zur Auswirkung gelangen.

Eine Tonne Kartoffeln braucht zu ihrer Produktion rund 0,1 Kiloäquivalent Mg. Da der Boden nur 0,7 Kiloäquivalent Mg zur Verfügung stellt, konnte auch nur eine dementsprechende Ernte erzielt werden. Es ist daher sehr wahrscheinlich, daß das Zurückbleiben des tatsächlich beobachteten Erntewertes hinter der Schätzung sich aus dem Mg-Mangel zum Teil erklärt.

Zusammenfassend kann man sagen, daß auf diesen Böden ein guter Erfolg der Kalidüngung namentlich in Form von Kalimagnesia mit Sicherheit zu erwarten war. Dieser Erfolg ist, wie die folgenden Ernteziffern (Tabelle 5) zeigen, auch tatsächlich eingetreten.

Tabelle 5. Düngung: 1 K = 500 kg Kalimagnesia.

Parzelle	P + N	P + N + 1 K	40 t Stallmist
Große Kartoffeln	750	17 500	11 000
Saatkartoffeln	1950	10 300	8 000
Kleine Kartoffeln	4250	6 564	8 556
Total	6950	34 364	27 556
K-Verbrauch in Kiloval .	0,56—0,7	2,7—3,4	2,2—2,7
K-Düngung in Kiloval . .	0	2,7	6,0
Mg-Verbrauch in Kiloval .	0,3	1,0	1,0
Mg-Düngung in Kiloval .	—	2,5	4,0

Die Versuche zeigten, daß der Höchstertrag durch eine Gabe Kalimagnesia in Höhe von 500 kg mit einem Kaliinhalt von 2,7 Kiloval pro Hektar erzeugt worden ist. Weitere erhöhte Kaligaben zeigten in diesem Falle keinen Erfolg.

Nach dem Grund dieser Erscheinung ist nicht weit zu suchen. Eine Ernte von über 30 t Kartoffeln bedeutet einen Verbrauch von rund 9 Kiloäquivalent Stickstoff pro Hektar. In den gegebenen 400 kg Chilesalpeter sind aber nur wenig mehr als 4 Kiloval enthalten, und auf etwa die gleiche Höhe ist im günstigsten Falle nach den Analysendaten die Lieferung durch den Boden zu veranschlagen, der pro 100 g 13 Milliäquivalent N enthält, d. h. die Kartoffeln haben die mehr gegebene Kalidüngung einfach nicht ausnutzen können, weil sie bereits an Stickstoffmangel litten.

Der Vergleich der Bilanz der kali- und magnesiafreien Parzellen mit den übrigen mit Kali und Magnesia gedüngten Parzellen B O 14

Zeichen und Nummer der Probe	Zusammensetzung der löslichen Salze % Total: Na	K	Mg/2	Ca/2	Zusammensetzung der sorbierten Basen % S: Na	K	Mg/2	Ca/2	Minimales Porenvolumen	Wasserbilanz – Mögliches Wasser: W. %	M. W. cbm pro Schicht	Summe	Statisch verfügbares Wasser: St. %	St. W. cbm pro Schicht	Summe	Dynamisch verfügbares Wasser: cbm pro Schicht	Summe
B 13	31,7	3,3	—	65,0	5,9	1,2	2,3	90,6	27,9	20,8	880		16,0	680		680	
O 13	42,9	?	—	57,1	33,7	10,0	42,5	13,8	34,1	19,5	850	2600	14,7	640	2050	640	[illegible]
C 13	39,3	?	—	60,7	15,3	3,1	18,5	63,1	17,7	15,6	870		13,0	730		730	
B 14	25,3	5,1		69,6	9,6	5,4	7,1	77,9	43,8	16,7	760		12,2	560		560	
O 14	36,7	8,2	—	55,1	15,3	11,3	9,4	64,0	33,2	27,1	1040	2670	21,4	820	2110	820	[illegible]
Untergr. C 13											870			730		730	
B 15	33,4	10,0	—	56,6	12,3	11,5	5,3	70,9	37,4	21,8	910		16,2	680		680	
O 15	42,9	11,4	—	45,7	12,8	16,7	33,4	37,1	36,0	23,6	960	2740	18,1	730	2140	730	[illegible]
Untergr. C 13											870			730		730	
B 16	40,0	3,3	-	56,7	7,1	7,1	—	85,8	36,0	15,4	720		11,9	560		560	
O 16	44,8	10,4	—	44,8	35,6	25,4	27,1	11,9	29,5	11,5	580	1700	8,5	430	1320	430	[illegible]
C 16	56,6	4,3	—	39,1	40,0	12,5	—	47,5	23,0	7,3	400		5,9	330		260	
B 17	45,2	4,8	—	50,0	13,3	7,6	3,1	76,0	40,5	16,7	760		13,0	600		600	
O 17	42,0	5,8	—	52,2	20,8	8,0	9,6	61,6	25,1	16,9	770	1930	13,1	600	1530	600	[illegible]
Untergr. C 16											400			330		200	
B 24	54,4	?	—	45,6	2,6	0,9	12,2	84,3	30,1	46,1	1370	2920	35,3	1050	1930	1050	[illegible]
O 24	54,1	1,0	—	44,9	3,4	0,7	14,8	81,1	49,4	30,3	1550		17,2	880		580	
B 25	48,7	2,6	—	48,7	2,8	1,8	11,9	83,5	28,5	37,9	1250	2800	28,8	950	1830	950	[illegible]
Untergr. O 24											1550			880		580	
B 22	48,6	2,8	—	48,6	2,6	2,8	21,7	72,9	32,9	40,3	1540		31,0	1180		1180	
O 22	59,2	?	-	40,8	2,7	1,2	29,1	67,0	20,2	40,5	1030	3640	27,0	690	2520	690	[illegible]
C 22	26,8	0,9	24,2	48,1	3,0	0,8	21,4	74,8	44,9	44,1	1070		26,7	650		650	
B 23	64,6	2,1	—	33,3	2,8	2,9	19,8	74,5	22,7	38,7	1510		29,1	1140		1140	
Untergrund O 22 + C 22											2100	3610		1340	2480	1340	[illegible]

hinkt in gewissem Sinne aus dem Grunde, weil diese Parzellen bereits jahrelang eine starke Kalidüngung erhalten haben, die, wie die Analysen zeigen, zu einer keineswegs geringen Anreicherung des Kalibestandes des Bodens geführt hat. Diese Kalianreicherung stellt sich bis auf $1/2$ m Tiefe wie aus Tabelle 7, S. 114 zu ersehen.

Der Ansatz in den letzten Zeilen der Tabelle bezüglich der Entnahme aus dem Boden ist, wie ohne weiteres zuzugeben ist, nur roh, da die Analysen der Ernteprodukte fehlen. Immerhin dürfte die Größenordnung ungefähr richtig sein, und es zeigt sich sofort, daß auf jeden Fall zwischen dem gefundenen und dem rechnerisch anzunehmenden Plus eine sehr erhebliche Differenz besteht.

des Bodens (Übersichtsdaten).

Anzurechnende Schichtdicke	G. tr. t/cm	Kali-Magnesia-Kalk-Bilanz (Kiloäquivalent pro ha) — Verfügbares Kali je ha und Saison: aus Lösung	aus Komplex	aus Mineral	Summe pro Schicht	Total	Verfügbare Magnesia je ha und Saison: aus Lösung	aus Komplex	Summe pro Schicht	Total	Verfügbarer Kalk je ha und Saison: aus Lösung	aus Komplex	Summe pro Schicht	Total	Erforderliche Kaligabe: Kiloäquivalent	kg Kalimagnesia
25	150	0,75	0,15	0,02	0,92		—	0,3	0,3		14,6	11,1	25,7			1000
25	137	0,34	0,66	0,07	1,07	2,89	—	2,8	2,8	5,2	5,5	0,9	6,4	48,1		
30	177	0,53	0,34	0,03	0,90		—	2,1	2,1		9,0	7,0	16,0			
25	121	1,21	0,58	0,06	1,85		—	0,8	0,8		16,6	8,3	24,9			
25	139	1,30	0,98	0,10	2,47	5,22	—	0,8	0,8	3,7	9,4	5,6	15,0	55,9	-	—
		0,53	0,34	0,03	0,90		—	2,1	2,1		9,0	7,0	16,0			
25	131	0,98	1,28	0,13	2,39		—	0,6	0,6		5,6	7,9	13,5			
25	133	1,33	1,47	0,15	2,95	6,24	—	2,9	2,9	5,6	5,3	3,3	8,6	38,1	—	
		0,53	0,34	0,03	0,90		-	2,1	2,1		9,0	7,0	16,0			
25	133	0,33	0,73	0,07	1,13		—	?	?		5,7	8,8	14,5		8,9	1800
25	140	1,10	1,45	0,15	2,70	4,69	—	1,5	1,5	1,5	4,7	0,7	5,4	24,6		
20	162	0,32	0,49	0,05	0,86			?	?		2,9	1,8	4,7			
25	126	0,63	0,96	0,10	1,69			0,4	0,4		6,6	9,6	16,2		9,1	1800
25	156	1,56	0,83	0,08	2,47	5,02	—	1,0	1,0	1,4	14,0	6,4	20,4	41,3		
		0,32	0,49	0,05	0,86		-	?	?		2,9	1,8	4,7			
25	117	0,29	0,22	0,02	0,53	0,94		3,1	3,1	6,1	10,5	20,8	31,3	59,3	14	
23	113	0,26	0,14	0,01	0,41			3,0	3,0		11,4	16,6	28,0			
25	130	0,65	0,44	0,04	1,13	1,54	—	2,9	2,9	5,9	12,0	20,5	32,5	60,5		
		0,26	0,14	0,01	0,41		—	3,0	3,0		11,4	16,6	28,0			
30	127	0,38	0,59	0,06	1,03			4,6	4,6		6,5	15,4	21,9			
20	126	0,25	0,17	0,02	0,44	2,06		4,1	4,1	25,0	5,0	9,4	14,4	72,8		
20	121	0,48	0,10	0,01	0,59		13,5	2,8	16,3		26,9	9,6	36,5			
30	129	0,39	0,59	0,06	1,04	2,07		4,0	4,0	24,4	6,2	15,0	21,2	72,1		
		0,73	0,27	0,03	1,03		13,5	6,9	20,4		31,9	19,0	50,9			

Auf einem leichten Sandboden wie dem vorliegenden kann natürlich von einem Zusammenfallen der Restwerte im Boden und dem rechnerisch ermittelten Düngungsrest nicht die Rede sein, weil sich die Wegführung des in Lösung bleibenden Kalis nicht kontrollieren läßt, die sicher gerade auf dem vorliegenden Boden in recht erheblichem Maße erfolgt.

Wie die Tabelle 4 zeigt, bewegen sich die q_S-Werte mindestens in der Größenordnung von 10 im Durchschnitt und übertreffen im Untergrunde, der Kleinheit der Sorptionskomplexe entsprechend, diese Ziffer sogar ganz erheblich.

Nimmt man aber auch nur einen mittleren q-Wert von 10 an, so ergibt sich für die Einheitsschicht von 1 cm Dicke,

Tabelle 7. Total-Kali- und Mg-Bilanz in Kiloäquivalent bis 50 cm Tiefe.

		Parzelle N + P		Parzelle 3 K + N + P		Parzelle Stallmist	
		K	Mg	K	Mg	K	Mg
0—25 cm	aus Lösung . . .	0,75	—	1,2		1,0	—
	aus Komplex . .	1,50	3,0	4,5	6,0	9,2	4,3
25—50 cm	aus Lösung . . .	0,34	—	1,4	—	1,3	·
	aus Komplex . .	2,74	11,6	5,9	4,9	7,3	14,6
	Summe	5,33	14,6	13,0	10,9	18,8	18,9
In 16 Jahren zugeführt rund . .		—	—	86,0	80,0	96,0	64,0
In 16 Jahren entnommen rund .		14,0	5,0	40,0	16,0	40,0	16,0
Rechnerisches + ...		—	-	46,0	64,0	56,0	48,0
Gefundenes + ...		—	-	7,7	3,7	13,5	4,3
Differenz.				38,3	67,7	42,5	43,7

wenn man mit einem durchschnittlichen S von 2,5 rechnet, ein in Lösung verbliebener Rest einer Düngung mit 5,4 Kiloäquivalent K von $R = 5{,}4 - \frac{5{,}4 \cdot 2{,}5}{5{,}4 + 25} \sim 5$ Kiloäquivalent, d. h. in jeder Bodenschicht bleiben rund 90% der Gesamtdüngung in Lösung und Bewegung, da es sich um einen Boden handelt, der wenig Basen festlegt.

Die Unsicherheit durch die Auswaschung haftet naturgemäß auch der Berechnung der notwendigen Düngung an, kann hier aber nicht wesentliche Fehler erzeugen.

Für das Ziel der sicheren Hervorbringung der Höchsternten ist die Menge der Nährstoffe erforderlich, die in einer Höchsternte enthalten sind. Das ist für Kartoffeln unter den Verhältnissen Hollands rund 3 Kiloäquivalent K und etwa 1 Kiloäquivalent Mg. Für die Verdrängung des K, Mg usw. aus den Komplexen ist das den Kartoffeln verfügbare H mit rund 15 Kiloäquivalent zu veranschlagen. Die Berechnungsgleichung lautet für Kali:

$$y = \frac{q_S}{q_K} \cdot \frac{m \cdot 2\,H \cdot S}{S(m + q_S - 1) + 2\,H}$$

und für Mg entsprechend

$$y = \frac{q_S}{q_{Mg}} \cdot \frac{m \cdot 2\,H \cdot S}{S(m + q_S - 1) + 2\,H}.$$

Die Bewurzelungstiefe der Kartoffeln ging nirgends, wie die Beschreibung angibt, über die Krumenschicht hinaus. Für die Lieferung aus den Komplexen ist also jeweils nur die Krumenschicht, für die Lieferung aus der Bodenlösung bei der relativ hohen Wasserbeweglichkeit der Böden mindestens noch die Zwischenschicht in Ansatz zu bringen. Für die drei zu vergleichenden Parzellen gestaltet sich danach die Lieferung folgendermaßen:

Tabelle 8.

Lieferung in Kiloäquivalent	PN		PN + 3 K		Stallmist	
	K	Mg	K	Mg	K	Mg
Aus Lösung { 0—25 cm . .	0,75	—	1,21		0,98	—
Aus Lösung { 25—50 cm . .	0,34		1,39		1,33	
Aus Komplex 0—25 cm . . .	0,38	0,7	1,43	1,9	3,1	1,4
Totale Lieferung	1,47	0,7	4,03	1,9	5,41	1,4
Bedarf einer Maximalernte . .	3,00	1,0	3,00	1,0	3,00	1,0
Fehlender Rest	1,5	0,3	0	0	0	0

Die Resultate decken sich in jeder Weise mit denen, die der Praktiker auf Grund seiner Erfahrungen annehmen würde. Die seit 16 Jahren mit 40 t Stallmist gedüngten Parzellen benötigen sowohl an Kali wie auch an Magnesia praktisch nur eine Ersatzdüngung, um den Boden nicht zu erschöpfen.

Durchaus ähnliche Verhältnisse liegen auf der Volldüngungsparzelle mit erhöhter K-Gabe B O 14 vor. Mit der gegebenen Düngung von 5,4 Kiloval K wird bei dieser bereits mehr als das Doppelte gegeben von dem, was zu einer Höchsternte nötig wäre. Es ist das Ergebnis der Anreicherung des Bodens während einer Reihe von Jahren. Die Parzelle hat gerade den Zustand erreicht, wo eine Ersatzdüngung als vollkommen genügend zu betrachten ist, um den Boden hinsichtlich des K bei voller Leistungsfähigkeit zu erhalten.

Ganz anders sieht das Bild der PN-Parzelle B O 13 aus, die weder K noch Mg bei starker Stickstoffgabe und P-Düngung erhalten hat.

Nur eine große Düngergabe von rund 10 dz Kalimagnesia je Hektar würde in der Lage sein, mit Sicherheit sofort den Höchstertrag auf dieser Parzelle zu erzielen.

Aus dem Versuch ist zu entnehmen, daß es selbst auf Böden mit alter Kraft, die jahrelang mit K angereichert sind, nicht ratsam ist, unter eine Ersatzdüngung herunterzugehen, die unter der Größe der Ernteentnahme liegt.

Ehe zum nächsten Versuchsfeld übergegangen wird, sei noch mit einigen Worten auf die Kalkfrage eingegangen, die bei der sauren Reaktion dieser Böden nicht ohne Bedeutung ist.

Als nötige Kalkzufuhr zur Erreichung der verschiedenen Reaktionen durch Erhöhung des Sättigungszustandes der Böden ergeben sich die folgenden Gleichungen, worin a cm Schichtdicke und g das Volumengewicht des Bodens bedeutet:

zur Erreichung von p_H 5,75 $\pm$ 0,5 : $g \cdot a\,(0{,}6\,T - S)$ Kiloäquivalent Ca
7,00 $\pm$ 0,5 : $g \cdot a\,(0{,}9\,T - S)$ „ „
8,00 $\pm$ 0,5 : $g \cdot a\,(T - S)$ „ „

Für die besprochenen 3 Parzellen ergibt sich daraus der folgende Kalkbedarf bis zu 50 cm Tiefe, wenn man die Reaktion von p_H 7 $\pm$ 0,5 erreichen will, in Kiloval. Er ist berechnet unter der Voraussetzung, daß es möglich ist, den Kalk entsprechend unterzubringen und mit dem Boden zu vermengen.

Tabelle 9.

	B O 13 PN	B O 14 PN + 3 K	B O 15 Stallmist
Krume	153	121	200
Untergrund	213	228	228
Summe	366	349	428
in $CaCO_3$ dz	183	175	214
$CaCO_3$ dz für die Krume 25 cm	76	60	100
$CaCO_3$ dz nach Methode HUDIG	92	71	116
$CaCO_3$ dz nach DAIKUHARA	—	10,8	35,0

Die nahe Übereinstimmung der nach den obigen Gleichungen berechneten Kalkmengen mit den nach dem HUDIGschen Verfahren gefundenen ist deutlich, ebenso die Abweichungen der DAIKUHARA-Werte.

Wie aus den obigen Tabellen 1 bis 5 hervorgeht, zeigt das Versuchsfeld Groenlo, B O 16/17, Verhältnisse, die sehr weitgehend

mit denen des Versuchsfeldes Barlo übereinstimmen, wie es bei der gleichen geologischen und mineralogischen Herkunft der Böden nicht überraschen kann. Ein Unterschied besteht nur insofern, als die Böden physikalisch noch leichter sind als die Böden von Barlo. In chemischer Hinsicht ist dementsprechend die totale Sorptionskapazität T noch geringer als dort. Die Sättigung bewegt sich ungefähr auf der gleichen Stufe. Infolge der Kleinheit des S-Wertes ließen sich q-Werte nicht genau bestimmen, was bei der Kleinheit der Komplexe allerdings auch gegenstandslos ist. Eine Festlegung der gegebenen Düngung fand in diesem Boden nicht statt. Sämtliche Pflanzennährstoffe, die gegeben werden, verbleiben praktisch in Lösung, und was von den Pflanzen nicht verbraucht wird, wird ausgewaschen.

Das Ergebnis der Kalkung macht sich in einer Steigerung des austauschbaren Ca-Gehaltes der Krumenschicht mit rund 1,2 Milliäquivalent je 100 g Bodentrockensubstanz entsprechend 36 Kiloäquivalent Ca je Hektar bemerkbar. Dies ist ungefähr die durch Düngung total zugeführte Kalkmenge, die sich damit restlos in den Komplexen wiederfindet und daher auf die Reaktion des Bodens noch in keiner Weise gewirkt hat. In KCl-Lösung wurde vor Anlegung des Versuches im Frühjahr 1931 die Reaktion zu p_H 4,81 und im Herbst des Jahres sogar noch niedriger zu p_H 4,7 gemessen. Es kann das in keiner Weise wundernehmen, denn zur Erreichung von p_H 5,75 berechnet sich die benötigte Kalkmenge für die Krumenschicht zu rund 60 Kiloäquivalent, wenn man die vom Kalk noch nicht erfaßte Reaktion der Untergrundschicht als früher auch im Obergrund herrschend zugrunde legt, also das Dreifache der gegebenen Kalkgabe. Die geringe zugeführte Kalkgabe konnte daher, wie zu erwarten war, die Reaktion nicht wesentlich verändern.

Die K- und Mg-Bilanz der Böden der beiden Parzellen stellt sich wie in Tabelle 10.

Die Lieferungsbilanz der Böden und die zur Erzielung des Höchstertrages zu gebenden Düngermengen berechnen sich genähert wie in Tabelle 11.

Durch diese Düngermenge würde auch der Mg-Mangel behoben werden.

Ganz allgemein zeigt die Tabelle 11, wie verschieden sich hinsichtlich der mit Rücksicht auf die Verteilung des Düngers im Boden nötigen

Tabelle 10. Bilanz der Totalgehalte (für 50 cm Bodentiefe).

Vorhanden		PN K	PN Mg	2 KPN K	2 KPN Mg
In Lösung	0–25 cm	0,3	—	0,6	—
	25–50 „	1,1	—	1,6	—
Im Komplex	0–25 „	4,0	?	5,4	2,2
	25–50 „	5,5	5,8	3,9	4,7
Summe		10,9	5,8	11,5	6,9
In der Düngung zugeführt		—	—	8,1	7,5
Von Rüben entnommen		5,6	2,4	6,9	3,5
Theoretische Anreicherung				1,2	4,0
Gefundene Anreicherung				0,6	1,1
Differenz		—	—	+ 0,6	+ 2,9

Tabelle 11. Lieferungsmöglichkeit für K und Mg für Rüben (H = 20) (für 50 cm Krumentiefe) in Kiloäquivalent/ha.

Lieferungsmöglichkeit		PN K	PN Mg	2 KPN K	2 KPN Mg
Aus Lösung	0–25 cm	0,33	—	0,63	—
	25–50 „	1,10	—	1,56	—
Aus Komplex	0–25 „	1,30	?	1,63	0,7
Totale Lieferungsmöglichkeit bis 50 cm		2,73	?	3,82	0,7
Bedarf einer Maximalernte		7,0	3,5	7,0	3,5
Fehlender Rest		4,3	3,5	3,2	2,8
Erforderliche Düngermenge in Kiloäquivalent K		8,9	-	9,1	—
In Kilogramm Kalimagnesia		~ 1800	-	~ 1800	—

Düngergaben selbst nahe gelegene Teilstücke eines Feldes verhalten können.

Die zur Erzeugung einer Rübenhöchsternte auf diesem Boden in seinem momentanen Zustande erforderlichen Düngermengen ergeben sich als sehr hoch, und man kann, auch ohne daß vor der vorhergehenden Rübenernte eine Analyse gemacht war, vermuten, daß selbst die höchste angewandte Düngung K_2PN mit 1500 kg Kalimagnesia in ihrem Erfolge noch von einer Maximalernte entfernt geblieben sein muß.

Die Ernteziffern des Versuches sind die folgenden:

Parzelle	PN = 38000 kg	Rüben	= 63 %	des	Höchstertrages
„	2 KPN = 52000 „	„	= 86 %	„	„

Qualitativ ist also diese Forderung erfüllt.

Da, wie betont ist, bei der Kleinheit von S sich genaue q-Werte nicht berechnen lassen, ist es bei der Wirkung, die gerade der q-Wert auf das Endresultat hat, sehr wohl möglich, daß die eingesetzten Werte zu klein sind; die berechneten Düngermengen werden wahrscheinlich dadurch etwas zu groß. Praktisch wird man aber so viel sagen können, daß die für diesen Boden nötige Düngermenge für Hackfrüchte bis zu seiner Einstellung ins Gleichgewicht mindestens die verabfolgte Gabe von 1500 kg Kalimagnesia betragen muß.

Die Anreicherungsmöglichkeit dieser Böden ist sehr gering, und Nachlassen der Düngung, wenn nicht durch Zufuhr von Humus eine sehr wesentliche Vergrößerung der Sorptionskapazität erfolgt, muß sofort zu merklichen Rückschlägen führen.

b) Die Böden von Bellingwolde und Scheemda.

Ein wesentlich anderes Bild als die bisher behandelten Böden des gemengten Diluviums bieten die Böden des sogenannten Sanddiluviums (Bellingwolde 24/25) und des skandinavischen Diluviums (Scheemda 22/23).

Die beiden Probestellen liegen am Rande eines Moorgebietes. Die Profilbeschreibung (Tabelle 1) zeigt, daß es sich im Falle Scheemda um einen Lehmboden handelt, der auf Moor aufliegt, während Bellingwolde Podsol darstellt.

Wie die mineralogische Untersuchung (Tabelle 3) zeigt, ist der ganze Boden mit geringen unerheblichen Mengen von Kalkschalen von Meerestieren durchsetzt und charakterisiert sich dadurch als Meeresabsatz und bildet eine Parallele der weiter unten zu behandelnden See-Klei-Böden. Auffällig ist in der mineralogischen Zusammensetzung bei dem Boden Scheemda ein recht erheblicher Gehalt des Sandes an Eisenkonkretionen, ferner das Auftreten von Mineralien der Magnesiaglimmergruppen, die im gemengten Diluvium fast völlig fehlten.

In voller Übereinstimmung mit dem Auftreten der genannten Mg-Mineralien im Bodenskelett enthalten auch die Komplexe dieser Böden zum Teil erhebliche Mengen an Mg, und dieses tritt im tiefen Untergrunde von Scheemda sogar in großer Menge in der Bodenlösung auf.

Der Boden von Bellingwolde (B u. O 24; B 25) ist dadurch charakterisiert, daß eine 25 cm starke humose Lehmlage mit einem absoluten Tongehalt von rund 25 % fast übergangslos auf torfigem Sand als Untergrund liegt. Minimale Wasserkapazität und Wasserbeweglichkeit des Obergrundes sind hoch. Im Untergrund ist die letztere wesentlich geringer; die Reaktion der Krume ist praktisch neutral, die des Untergrundes mit 5,2 p_H in Wasser und 4,5 in KCl-Ausschüttelung ausgesprochen sauer. An keiner Stelle war eine Wurzelverbreitung über die Krumenschicht hinaus festzustellen.

Es handelt sich also um einen außerordentlich flachgründigen Boden, bei welchem kaum mehr als die Krumenschicht als Grundlage der Nährstoffberechnung in Ansatz zu bringen ist, da infolge der geringen Wasserbeweglichkeit im Untergrunde hier nur bei Grundwasserstau mit einer Versorgung der Wurzeln aus der zweiten Schicht zu rechnen ist.

Auf dem Felde traten starke Kalimangelerscheinungen auf, so daß bei Anwendung starker Kaligaben bei sehr flach wurzelnden Gewächsen wie Kanariengras besonders hohe Effekte erzielt wurden. Es trat also eine sofortige, befriedigende Wirkung der gegebenen starken Düngung nach den gemachten Angaben bei Flachwurzlern ein.

Ein Vergleich der analytischen Daten der ungedüngten und mit starker K-Gabe versehenen Parzellen stellt sich wie folgt, wobei von der gedüngten Parzelle allerdings nur eine Probe der Krume zur Verfügung stand. Um eine Vergleichsmöglichkeit zu erhalten, sind die Zahlen des Untergrundes der ungedüngten Parzelle in die Bilanz der K-Parzelle eingesetzt worden.

Es handelt sich also in Übereinstimmung mit den gemachten Angaben in der Tat um einen sehr kalibedürftigen Boden, der ohne Düngung schätzungsweise 1200—1500 kg Weizen je Hektar produzieren könnte. Wie ein Vergleich der Krumenziffern der Komplexe zeigt, ist offensichtlich die gesamte K-Düngung (die kaum mehr als die Differenz der beiden Böden: 5,0 Kiloäquivalent betragen haben dürfte, ein-

gerechnet die möglichen Bodenunterschiede) restlos in der Krume steckengeblieben.

Legt man als für die Wurzeln zugänglich nur die Krumenschicht der Berechnung zugrunde, so ergibt sich als eine nötige K-Düngung zur Hervorbringung einer Mittelernte an Weizen von rund 2,5—3 t Korn ein $D \simeq 14$ Kiloval K für die ungedüngte Parzelle. — Mg ist bei dem reichen Gehalt des Bodens ohne Interesse. In Lösung haben wir, wie die Analysen zeigen, 0,3 Kiloäquivalent K pro Hektar. Falls keine

Tabelle 12.

		Parzelle O B 24, O 24		Parzelle K B 25, O 24	
		K	Mg	K	Mg
1. Totalgehalt in Kiloäquivalent					
In Lösung	0—25 cm	0,29	—	0,65	—
	25—60 „	0,4	—	(0,4)	(—)
Im Komplex	0—25 „	5,7	78,4	10,4	69,0
	25—60 „	2,8	59,7	(2,8)	(59,7)
Summe		9,2	138,1	14,2	128,7
2. Lieferung (für Weizen H = 10)					
Aus Lösung 0—25 cm		0,3	—	0,65	—
Aus Komplex 0—25 cm		0,2	2,3	0,35	2,4
Summe		0,5	2,3	1,00	2,4

Festlegung der Düngung im Boden erfolgte, wäre eine Kaligabe für obige Ernte von 1,0 Kiloval erforderlich. In Wirklichkeit ist aber mit dieser Düngung so gut wie kein Effekt zu erzielen, da der Boden sehr große Mengen an Basen festlegt.

Es ist von Interesse, der K-Verteilung in dem vorliegenden Falle nachzugehen, da diese für die ganze Reihe ähnlich gebauter Lehmböden, die mit q-Werten über 1,0 noch zum K-aktiven Typus gehören, als charakteristisch zu betrachten ist. Die Anwendung einer Düngergabe von mehr als 10 Kiloäquivalent K, entsprechend 1000 Kilo K_2SO_4 oder 2000 Kilo Kalimagnesia in einer Gabe, steht nicht zur Debatte, weil sie mit Rücksicht auf die Salzkonzentration unmöglich ist. Außerdem ist es nicht möglich, selbst bei Anwendung hoher Düngergaben eine gleichmäßige Verteilung auf sorptionsstarken Böden zu erzwingen,

wie die nachstehende Tabelle zeigt. Von 5 zu 5 cm gibt sie die Verteilung von 5, 10 und 20 Kiloäquivalent K auf dem betrachteten Boden wieder, wie sie sich ohne gründliche Unterbringung und Durchmischung mit dem Boden gestalten würde.

Tabelle 13.

F	*D* = 5		*D* = 10		*D* = 20	
	absol.	% *D*	absol.	% *D*	absol.	% *D*
0—5 cm	4,6	92,0	8,8	88,0	16,6	83,0
5—10 „	0,4	8,0	1,1	11,0	3,1	15,5
10—15 „	?	?	0,1	1,0	0,28	1,4
15—20 „	?	?	?	?	0,02	0,1
20—25 „	?	?	?	?	?	?

Aus diesen Ziffern, die sich ohne weiteres im Laboratorium und im Felde als zutreffend nachprüfen lassen, geht hervor, daß selbst die größten Düngergaben, wenn sie nicht ganz intensiv mit der Bodenschicht, in der sie zur Wirkung kommen sollen, gemischt werden, auf sorptionsstarken Böden in den obersten Lagen der Krume steckenbleiben.

Das vorliegende Untersuchungsmaterial zeigt deutlich, daß auf allen Böden mit einem *S*-Wert von mehr als 20, d. h. also angefangen vom mittleren Lehm bis zu Tonen, eine Auswaschungsgefahr für Kalidüngung nicht mehr existiert. Im Gegensatz hierzu liegt die Gefahr darin, daß auf dem Felde bei gewöhnlicher oberflächlicher Unterbringung des Kalis dieses überhaupt nicht zur Wirkung kommt. Es wird dadurch im Versuch Kalireichtum des Bodens vorgetäuscht, der tatsächlich nicht besteht; denn was als Kalireichtum in solchen Fällen gedeutet wird, ist weiter nichts als eine durch die Festlegung der zugeführten Düngung in den oberflächlichen Bodenschichten verhinderte Zugänglichkeit der Düngergabe für die Wurzeln.

Es bleibt nur übrig, auf solchen Böden unter ständiger Kontrolle des Bodenzustandes, die leicht durchzuführen ist, laufend hohe Düngergaben zu geben, bis sich mit der Zeit ein solcher Sättigungsgrad eingestellt hat, daß er dem Ideal möglichst nahekommt.

Bei dem Versuchsboden ergab sich ein schneller Erfolg der Kalidüngung nur bei dem ganz flach wurzelnden Kanariengras. Ganz allgemein werden von ähnlichen Böden schnelle Erfolge nur von

Zwiebeln und Hackfrüchten, d. h. von flach wurzelnden Gewächsen, die ihre Wurzelentwickelung in der Hauptsache auf die Krume beschränken, gemeldet, während bei Getreidearten mit ihrer tieferen Bewurzelung die Wirkung in den ersten Jahren der Düngeranwendung gewöhnlich zu wünschen übrigläßt oder ganz fehlt.

Ein Beweis, wie berechtigt diese Gesichtspunkte sind, wird durch das Versuchsfeld Scheemda BOC 22 geliefert. Der Profilbau dieses Versuchsfeldes geht aus der Bodenbeschreibung (Tabelle 1) hervor. Es handelt sich in diesem Falle um ein von Lehm überlagertes Niederungsmoor, unter dessen Humusschicht sich mit Raseneisensteinstücken durchsetzter Sand befindet. Die Wurzelverbreitung der zur Zeit der Probenahme angebauten Rüben ging nicht weiter als 30 cm in die Tiefe. Es ist dies gut zu verstehen, weil sich bereits in der Zone zwischen 30 und 50 cm blaue bis grünliche Reduktionsstreifen im Lehm vorfanden, die verhältnismäßig großen Luftmangel anzeigen. Die physikalische Untersuchung ergibt, wie die Tabelle 2 zeigt, daß dieser Horizont zwischen 30 und 50 cm als typischer sekundärer Illuvialhorizont anzusprechen ist, der gegenüber der Krumenschicht seinen absoluten Tongehalt auf 57% erhöht, d. h. fast verdoppelt hat. Er hat 18,3% nichtkoagulierte Tonsubstanz und besitzt einen für europäische Böden geradezu exzessiven linearen Schrumpfungskoeffizienten von 14%. Das in dieser Schicht noch bestehende spannungsfreie Porenvolumen ist ganz minimal, es ist dementsprechend ein Luftgehalt nicht oder kaum möglich, und die Illuvialschicht ist damit in der Tat als praktische Grenze der Wurzelverbreitung zu bezeichnen.

Chemisch ist das ganze Bodenprofil sauer (vgl. Tabelle 4), und zwar ganz besonders stark in der Oberkrume, die in KCl-Ausschüttelung eine Reaktion von 3,9 p_H aufweist. Im Illuvialhorizont und darunter ist die Reaktion, ebenfalls in KCl-Ausschüttelung 4,3, und 5,5 bzw. 5,2 in wässeriger Ausschüttelung. Der Humusgehalt sowohl der Krume wie des Illuvialhorizontes beträgt rund 4 bzw. 3,2%. Den Reaktionsziffern entsprechend weist die Krume eine Austauschazidität von 2,1 Milliäquivalent Al, entsprechend 21 ccm Gesamtazidität nach internationaler Ausdrucksweise auf. Im Illuvialhorizont ist praktisch keine Austauschazidität vorhanden, während die Moorlage zwar keine nennenswerte Austauschazidität in Form von Al, aber dafür eine sehr

hohe Restazidität von 16,3 Milliäquivalent H entsprechend 163 ccm hydrolytischer Gesamtazidität hat und sehr deutliche Neutralsalzzersetzung zeigt. Daß unter diesen Umständen die Bodenlösung im Profil in den beiden obersten Schichten sehr arm ist, kann nicht verwundern.

Eine Übersicht der vollständigen Kalibilanz und der Lieferungsdaten des Profils 22 B O und C der ungedüngten Parzelle und der Krumenschicht B 23 der mit 250 kg K_2SO_4 gedüngten Parzelle gibt die folgende Tabelle 14 (K in Kiloäquivalent):

Tabelle 14.

Gesamtgehalt		Ungedüngt B 22, O 22, C 22	250 kg K_2SO_4 B 23, O 22, C 22
In Lösung	0—30 cm	0,4	0,4
	30—50 „	0,2	(0,2)
	50—70 „	0,5	(0,5)
Im Komplex	0—30 „	14,9	15,9
	30—50 „	8,5	(8,5)
	50—70 „	3,4	(3,4)
Summe		27,9	28,9
Kalilieferung für Rüben (H 20)			
Aus Lösung	0—30 cm	0,4	0,4
Aus Komplex	0—30 „	1,0	1,1
Gesamtlieferung		1,4	1,5

Wie die Tabelle zeigt, ist, trotz mittleren absoluten Gehaltes an Kali, der Boden sehr nährstoffbedürftig.

Die aus den allgemeinen Analysendaten zu ziehenden Schlußfolgerungen treffen also nicht zu. Rüben brauchen rund 6 Kiloäquivalent K, die, wie die Tabelle zeigt, durch den Boden nicht geliefert werden. Trotzdem wird auf diesem Boden fast jede Kaliwirkung ausbleiben. Man müßte also nach den Versuchsergebnissen schließen, daß der Boden kalireich ist, wie die Beurteilung der Absolutwerte ja auch zeigt. Daß tatsächlich kein Kalireichtum vorliegt, sondern daß im Gegenteil dieser Boden nur nicht auf die schwache Kalidüngung von 250 kg K_2SO_4, die ihm zu Rüben gegeben wurde, reagieren kann, zeigt sein Festlegungsvermögen, das nur geringe Mengen der Düngung zur Ausnutzung kommen läßt.

Ehe überhaupt an eine Vermehrung des K-Inhaltes der Bodenlösung zu denken ist, müßte der Boden bis zur Erreichung des Äquivalenzwertes mit K gesättigt sein. Dieser ist, da auch das Al hier mit in Rechnung zu setzen ist, $(S + \mathrm{Al})(1 - q) = 16{,}2 \cdot 0{,}02$ für die Einheitsschicht, also für die Krume bei 1,2 Vol.-Gewicht des Bodens $36 \cdot 16{,}2 \cdot 0{,}02 = 11{,}7$ Kiloäquivalent K.

Tatsächlich besteht, wie die Analyse zeigt, keine Steigerung des Gehaltes an löslichem Kali auf der gedüngten Parzelle. Die geringe K-Gabe mußte wirkungslos bleiben, wie es sich praktisch auch herausgestellt hat. Erst nach Verabfolgung von mehr als einer Tonne K_2SO_4 je Hektar ist auf diesem Boden mit dem Einsetzen einer merkbaren Wirkung zu rechnen.

II. Seekleiböden.

Es handelt sich um Flußschlamm, der auf diluvialer Grundlage unter dem Einfluß des Salzwassers der Nordsee sedimentiert ist. Bodenproben wurden entnommen auf dem Zentralversuchsfeld Finkum BO 18, B 19, B 20 und B 21, ferner auf dem Felde des Herrn Spaans in Avenhorn BO 1 und auf dem Felde des Herrn Manshaden in Onderdijk BOCD 2 und B 3.

a) Der Boden von Finkum.

Das Profil des Versuchsfeldes Finkum auf der nicht mit Kali gedüngten Parzelle ist wie folgt gestaltet (Tabelle 15).

Die Ackerkrume von 35 cm Tiefe wird von einem rund 10% Ton enthaltenden Feinsand gebildet, der dem Augenschein nach in einen tonärmeren Sand mit vielen Oxydationsflecken in 45 cm Tiefe übergeht. Tatsächlich ist in mechanischer Hinsicht analytisch ein Unterschied zwischen Krume und Untergrund nicht festzustellen, ja, der scheinbar sandige Untergrund enthält noch etwas mehr Ton als die Krume (Tabelle 16). Die minimale Wasserkapazität des Bodens ist mittelmäßig, die Wasserbeweglichkeit sowohl in der Krume wie im Untergrunde sehr hoch. Die maximale Steighöhe beträgt in der Krume 71, im Untergrund 101 cm.

Mineralogisch bietet die Zusammensetzung des Bodens nichts Bemerkenswertes (Tabelle 17). Auch hier kommen, wie in den übrigen

Tabelle 15. Bodenbeschreibung.

Zeichen und Nr. der Probe	Land	Provinz	Ort	Tiefe des Musters in cm	Farbe	Bemerkungen über den Bau des Profils und Grundwasserstand	Bemerkungen über Ertragsklasse, Fruchtfolge, Dungung, evtl. über natürliche Vegetation
B 18	Holland	Friesland	Finkum	0—35	grüngrau	0—25 cm Ton Ackerkrume, sandiger Ton, aufgelag. auf:	Bewurzelung der Gräser bis Pflugtiefe. Starke Wirkung b. Zwiebeln, aber auch sonst
O 18	,,	,,	,,	35—70	hellgrau	45—70 cm Sand Sand mit Oxydationsflecken	
B 19	,,	,,	,,	0—35	grüngrau		Ohne Kali, tiefe Bewurzelung
B 20	,,	,,	,,	0—35	desgl.		Kleine Kaligabe
B 21	,,	,,	,,	0—35	desgl.		Große Kaligabe
B 2	,,	Noord-Holland	Onderdijk	0—30	graubraun	Krume	3 Jahre ohne Kali
O 2	,,	,,	,,	30—40	hellgrau	Illuvialhorizont	
C 2	,,	,,	,,	40—50	schwarzgraublau	Torfschicht, noch Wurzeln	
D 2	,,	,,	,,	50—80	grau	Seeschlick mit Wurzelresten	
B 3	,,	,,	,,	0—30	grau	Regenwurmstruktur	1400 kg Patentkali
B 1	,,	,,	Avenhorn	0—23	schwarzgraubraun	Stark humoser Obergrund, porös	Profilentnahme auf ungedüngtem Teilstück. Vorher nur mit Stallmist und Jauche gedüngt. 2 Jahre Wiese
O 1	,,	,,	,,	23—50	hellgrau	Grauer Seeschlick, durchschichtet mit Feinsand. Grundwasser [illegible] 75 cm	

Tabelle 16. Physikalische Untersuchung des Bodens.

Zeichen u. Nummer der Probe	In % Trockensubstanz Mechanische Zusammensetzung								Strukturfaktor	Hygrosk. Wasser	Minim. Wasserkapazität	Totes Wasser	Kritische Schicht	Steighöhe		Bei Ausgang von			
	Grobsand I	Feinsand I	Schluff I	Ton I	Grobsand II	Feinsand II	Schluff II	Ton II					cm	Total	1000 × q	feste Teile %	Wasser %	Luft %	Lineare Schrumpfg. %
B 18	0,64	78,86	9,6	10,9	1,0	91,2	7,0	0,80	93	2,20	22,5	3,6	67,0	714	20	60	28	12	1,0
O 18	0,45	75,75	11,4	12,4	0,6	84,8	13,8	0,80	94	2,05	22,7	3,4	95,3	1010	16	60	28	12	0,5
B 19	0,57	74,23	13,4	11,8	0,8	85,8	12,4	1,00	92	2,34	29,8	4,0	72,1	769	20	56	37	7	3,0
B 20	0,40	76,0	11,8	11,8	0,8	87,78	10,7	0,72	94	2,14	24,1	3,4	62,5	666	20	60	30	10	1,0
B 21	0,38	76,42	11,0	12,2	0,6	86,46	12,3	0,64	95	2,28	25,1	4,0	67,7	714	13	61	36	3	1,5
B 2	3,9	66,5	20,6	15,0	15,7	67,8	13,2	3,3	78	6,07	53,3	10,1	37,9	408	25	49	51	0	7,0
O 2	4,6	29,8	27,9	37,7	15,6	40,1	30,3	14,0	63	7,21	59,3	11,8	7,9	94	122	42	57	1	13,0
C 2	28,9	57,1	7,3	6,7	28,9	61,3	8,2	1,6	76	12,27	93,8	23,5	22,1	233	13	34	66	0	6,0
D 2	0,8	90,5	3,3	5,4	1,1	94,1	3,0	1,8	67	0,8	16,1	5,2	64,0	667	8	52	18	30	0
B 3	4,1	57,0	22,4	16,5	6,6	71,8	17,4	4,2	71	6,26	52,3	10,3	32,9	357	30	43	54	3	7,0
B 1	15,7	43,2	23,4	17,7	15,7	65,5	16,3	2,5	86	12,42	87,6	19,2	13,5	156	72	37	63	0	13,0
O 1	0,2	42,1	21,5	36,2	6,6	61,6	25,7	6,1	83	4,79	50,3	7,5	37,4	420	60	45	52	3	9,2

Tabelle 17. Mineralogische Untersuchung des Bodens.

Zeichen und Nummer der Probe	Korngröße mm	Zusammensetzung der Feinerde										
		Quarz	Orthoklas usw.	Plagioklas	Kaliglimmer	Magnesiaglimmer	Amphibole u. Pyroxene	Muschelschalen usw.	Kalkkonkretionen	Eisenkonkretionen	Organische Reste	Holzkohle
B 18	2—0,2	67		3	?			5	10	5	10	
	0,2—0,02	72	1	4	2	3	5	5	8			
O 18	2—0,2	20							30	50		
	0,2—0,02	78	1	2	2	4	8		5			
B 19	2—0,2	70							5	5	20	
	0,2—0,02	87	1	3	3	2	4					
B 20	2—0,2	82		1					5	2	10	
	0,2—0,02	93	1	2	1	1	2					
B 21	2—0,2	78							8	4	10	
	0,2—0,02	89	1	3	3	1	3					
B 2	2—0,2	20								70	10	
	0,2—0,02	92	?	?		3	5					
O 2	2—0,2	10								90		
	0,2—0,02	87	2	4	2	2	3					
C 2	2—0,2	38								50	5	7
	0,2—0,02	95	1	1			3					
D 2	2—0,2	81	?	2	4	?	?		3	10		
	0,2—0,02	91	1	1	2	2	3					
B 3	2—0,2	25						5		70		
	0,2—0,02	87	1	3	2	2	5					
B 1	2—0,2	10									90	
	0,2—0,02	95	?	1	?	1	3					
O 1	2—0,2	55			5	?				5	35	
	0,2—0,02	87	1	2	5	1	4					

Tabelle 18. Chemische Untersuchung

Zeichen und Nummer der Probe	p_H in Wasser	p_H in n-KCl	C %	N %	C/N	P_2O_5 Total %	P_2O_5 nach NEUBAUER mg	Karbonate	Zusammensetzung der löslichen Salze in Milliäquivalent: Na	K	Mg/2	Ca/2	Zusammensetzung…: H	Al/3	Na
B 18	8,1	6,7	1,31	0,12	11	0,099	6,6	0,20	0,19	0,01	–	0,59	0,56	–	0,20
O 18	8,6	7,2	1,04	0,04	26	0,076	0	0,23	0,17	<0,01	<0,01	0,49	0,44	–	0,20
B 19	8,0	7,0	1,51	0,12	13	0,110	10,0	0,25	0,24	<0,01	0,08	0,51	0,72	–	0,19
B 20	8,0	6,9	1,47	0,12	12	0,109	4,7	0,18	0,14	0,01	0,01	0,47	0,57	–	0,18
B 21	7,9	7,0	1,51	0,12	13	0,096	8,7	0,20	0,27	<0,01	0,13	0,51	0,65	–	0,14
B 2	7,1	6,5	3,80	0,48	8	0,227		0,03	0,59	0,03	0,11	1,04	3,08		0,30
O 2	6,9	5,9	2,39	0,27	9	0,458	3,4	0,05	0,69	0,02	0,01	0,48	2,29	–	0,77
C 2	7,8	7,5	7,43	1,24	6	1,370		0,08	2,84	0,10	0,70	0,97	4,88		3,83
D 2	7,8	7,6	0,94	0,03	31	0,076		0,17	2,20	0,14	0,52	0,69			0,19
B 3	6,6	5,5	3,70	0,41	9	0,227	8,8	–	0,49	0,04	0,11	0,51	4,63	–	0,50
B 1	6,5	5,9	10,08	0,99	10	0,185	9,8	–	0,22	0,18	–	1,12	6,85	–	0,43
O 1	7,4	6,6	1,81	0,14	13	0,085	1,3	0,15	0,28	0,03	<0,01	0,91	1,00	–	0,15

Tabelle 19. Untersuchung

Zeichen und Nummer der Probe	Zusammensetzung der löslichen Salze % Total: Na	K	Mg/2	Ca/2	Zusammensetzung der sorbierten Basen % S: Na	K	Mg/2	Ca/2	Wasserbilanz: Minimales Porenvolumen	Mögliches Wasser: W. %	M. W. cbm pro Schicht	Summe	Statisch verfügbares Wasser: St. %	St. W. cbm pro Schicht	Summe	Dynamisch verfügbares Wasser: cbm pro Schicht	Summe
B 18	24,0	1,3	–	74,7	2,4	1,5	7,7	88,4	24,2	22,5	1300	2610	18,9	1090	2200	1090	[illegible]
O 18	25,8			74,2	2,5	1,3	9,4	86,8	25,1	22,7	1310		19,3	1110		1110	
B 19	28,9		9,7	61,4	2,1	1,4	17,4	79,1	24,7	28,7	1500	2810	24,7	1290	2400	1290	[illegible]
Untergr. O 18											1310			1110		1110	
B 20	29,7	–	14,3	56,0	2,2	1,7	18,8	77,3	24,2	24,1	1360	2670	20,7	1170	2280	1170	[illegible]
Untergr. O 18											1310			1110		1110	
B 21	23,0	–		77,0	1,6	2,2	17,6	78,6	22,3	24,5	1370	2680	20,5	1150	2260	1150	[illegible]
Untergr. O 18											1310			1110		1110	
B 2	33,3	1,7	6,2	58,8	1,7	1,4	11,4	85,5	25,1	47,9	1670	3760	37,8	1320	2770	1320	[illegible]
O 2	58,0	1,7	?	40,3	2,9	2,9	27,3	66,9	22,3	44,1	540		32,3	400		400	
C 2	61,6	2,2	15,2	21,0	9,2	2,0	30,0	58,8	56,0	74,5	660		51,0	450		450	
D 2	62,0	3,9	14,7	19,4	6,2	7,8	31,8	54,2	36,0	16,1	890		10,9	600		600	
B 3	42,6	3,5	9,6	44,3	2,8	3,6	16,3	77,3	33,9	48,8	1690	3780	38,5	1330	2780	1330	2780
Untergr. O 2 bis D 2											2090			1450		1450	
B 1	14,5	11,9	–	73,6	1,1	4,5	4,9	89,5	30,4	78,4	1550	2930	59,2	1170	2290	1170	2290
O 1	22,9	2,5	?	74,6	0,8	1,6	6,6	91,0	26,0	39,6	1380		32,1	1120		1120	

des Bodens (Analysendaten).

der Komplexsättigung in Milliäquivalent										V	Basensumme in Lösung und Komplex					K in Milliäquivalent nach NEUBAUER
K	q_K	Mg/2	q_{Mg}	Ca/2	q_{Ca}	S	q_S	T		%	Total	Na	K	Mg/2	Ca/2	
0,13	86	0,65	17,2	7,49	1,5	8,47	1,32	9,03		94	9,26	0,39	0,14	0,65	8,08	0,18
0,10	86	0,75	11,4	6,89	1,2	7,94	1,08	8,38		95	8,60	0,37	0,11	0,76	7,38	0,35
0,12	89	1,54	6,9	7,00	1,5	8,85	1,20	9,57		92	9,68	0,43	0,13	1,62	7,51	0,27
0,14	70	1,52	7,0	6,26	1,7	8,10	1,32	8,67		93	8,71	0,32	0,15	1,53	6,73	0,30
0,19	40	1,54	5,0	6,86	1,1	8,73	0,88	9,38		93	9,64	0,41	0,20	1,67	7,37	0,19
0,29	121	2,36	14,9	17,09	2,0	20,70	1,70	23,78		87	22,47	0,95	0,32	2,47	18,73	1,10
0,75	50	7,16	5,3	17,50	2,2	26,18	1,44	28,47		92	27,37	1,46	0,77	7,17	17,98	1,12
0,84	84	12,50	5,7	24,50	2,9	41,67	1,70	46,55		90	46,28	0,67	0,94	13,20	25,47	0,65
0,24	77	0,98	18,8	1,67	11,0	3,08	5,98	3,08		100	6,63	2,39	0,38	1,50	2,36	0,66
0,05	46	2,93	10,3	13,87	2,2	17,95	1,68	22,58		80	19,10	0,99	0,69	3,04	14,38	0,64
1,81	37	1,97	34	35,95	1,9	40,16	1,68	47,01		86	41,68	0,65	1,99	1,97	37,07	1,32
0,31	89	1,27	22	17,39	1,6	19,12	1,44	20,12		95	20,34	0,43	0,34	1,28	18,30	0,62

des Bodens (Übersichtsdaten).

		Kali-Magnesia-Kalk-Bilanz (Kiloäquivalent pro ha)												
		Verfügbares Kali je ha und Saison					Verfügbare Magnesia je ha und Saison				Verfügbarer Kalk je ha und Saison			
Anzurechnende Schichtdicke in cm	Gr. t cm	aus Lösung	aus Komplex	aus Mineral	Summe pro Schicht	Total	aus Lösung	aus Komplex	Summe pro Schicht	Total	aus Lösung	aus Komplex	Summe pro Schicht	Total
35	159	0,56	0,35	0,04	0,95	1,84		1,8	1,8	4,65	32,8	20,9	53,7	100,9
35	156	0,55	0,31	0,03	0,89		0,55	2,3	2,85		26,7	20,5	47,2	
35	148	0,52	0,33	0,03	0,88	1,77	4,1	4,1	8,2	11,0	26,4	18,7	45,1	92,3
		0,55	0,31	0,03	0,89		0,5	2,3	2,8		26,7	20,5	47,2	
35	159	0,56	0,40	0,04	1,00	1,89	0,6	4,4	5,0	7,8	26,1	18,2	44,3	91,5
		0,55	0,31	0,03	0,89		0,5	2,3	2,8		26,7	20,5	47,2	
35	158	0,56	0,52	0,05	1,13	2,02	7,3	4,2	11,5	14,3	28,2	18,7	46,9	94,1
		0,55	0,31	0,03	0,89		0,5	2,3	2,8		26,7	20,5	47,2	
30	115	1,03	0,20	0,03	1,32	9,61	3,8	2,1	5,9	40,9	35,9	15,5	51,4	108,3
10	120	0,24	0,17	0,02	0,43		0,1	1,6	1,7		5,8	3,8	9,6	
10	88	0,88	0,11	0,01	1,00		6,2	1,7	7,9		8,5	3,2	11,7	
30	133	5,59	1,15	0,12	6,86		20,7	4,7	25,4		27,5	8,1	35,6	
30	114	1,37	0,05	0,06	2,08	10,36	3,8	2,9	6,7	41,7	17,4	14,0	31,4	88,3
		6,71	1,43	0,14	8,28		27,0	8,0	35,0		41,8	15,1	56,9	
23	85	3,52	0,98	0,10	4,00	6,10	…	1,1	1,1	3,1	21,9	10,4	41,3	95,8
27	127	1,03	0,43	0,04	1,50		0,3	1,7	2,0		31,2	23,3	54,5	

Böden der Seenähe zurücktretende Mengen von Pyroxenen und Amphibolen neben etwas Feldspat vor. Ihr Anteil ist etwas höher als z. B. in den Böden von Scheemda.

Chemisch ist der Unterschied des Bodens von Finkum von dem von Scheemda sehr groß. Wie die Tabelle der chemischen Untersuchungsdaten (Tabelle 18) zeigt, ist die Reaktion stark alkalisch. Der Humusgehalt ist überall relativ gering, ebenso die Konzentration der Bodenlösung, die im Durchschnitt etwa 0,75 Milliäquivalent lösliche Basen pro 100 g Bodentrockensubstanz beträgt. Dem geringen Tongehalt entsprechend, besitzen die Böden nur eine niedrige totale Sorptionskapazität von durchschnittlich 9 Milliäquivalent, die bis durchschnittlich 94 % entsprechend der alkalischen Reaktion mit Basen gesättigt ist, unter denen durchaus konform mit den Ergebnissen HISSINKs der Kalk mit 77—84 % weitaus an erster Stelle steht, was im übrigen auch für die relative Zusammensetzung der Bodenlösung gilt.

Der Kaligehalt in der Lösung ist gering und auf höchstens 0,01 Milliäquivalent je 100 g Boden zu veranschlagen. Ebenso gering, sowohl absolut wie prozentisch, ist die Beteiligung des Kalis am Komplexbau, wo es selbst gegenüber dem Natrium mit einer gleichen Menge von 0,13 Milliäquivalent im Ober- und Untergrunde noch um fast die Hälfte zurücktritt.

Wie nach den physikalischen Daten des Bodens nicht anders zu erwarten war, war die festzustellende Bewurzelung bei den Kulturpflanzen sehr tief. Die Kali- und Magnesiabilanz des Profils der ungedüngten Parzelle B 18 und O 18 stellt sich wie folgt (Tabelle 20):

Tabelle 20. K- und Mg-Vorrat in Kiloval der ungedüngten Parzelle B 18 und O 18.

		K	Mg
In Lösung	0—35 cm	0,56	—
	35—70 „	0,55	0,5
Im Komplex	0—35 „	7,2	36,2
	35—70 „	5,5	40,9
Total		13,8	77,6

Ein Vergleich der Krumenschichten der Parzelle Ungedüngt (B 18), NP (B 19), NP + K (B 20) und NP + 2 K (B 21) ergibt hinsichtlich des Kalis die folgenden Werte:

	O (B 18)	NP (B 19)	Kleine K Gabe (B 20)	Große K Gabe (B 21)
In Lösung . . .	0,56	0,52	0,56	0,56
Im Komplex . .	7,2	6,2	7,8	10,5
Anreicherung gegen NP-Parzelle			1,7	4,4

Die Anreicherung durch die gegebene Düngung ist sehr deutlich.

Die Lieferung des Profils an Magnesia bedarf bei dem hohen Magnesiagehalt keiner besonderen Untersuchung.

Infolge der großen Wasserbeweglichkeit ist die Kaliversorgung tiefwurzelnder Gewächse recht gut, so daß man sagen kann, daß bei diesen Gewächsen auf diesen Böden nur ein geringer Erfolg mit Kalidüngung zu erzielen sein wird. Im ganzen Profil sind nämlich in der ungedüngten Parzelle noch rund 1,84 Kiloäquivalent K verfügbar (Tabelle 19), was für die meisten Gramineen, Leguminosen usw. ungefähr ausreicht. Dies zeigen die Ergebnisse des im Jahr 1931 auf den bemusterten Parzellen B 21, B 20 und B 19 angestellten Erbsenversuches (Tabelle 21).

Tabelle 21.

		Ertrag an Tr.-Subst. dz/ha	Mit einem Gehalt an kval K	Gesamtertrag dz/ha	Mit kval K	Mehrertrag durch Kalidüngung an Tr.-Subst.	Mehrertrag durch Kalidüngung an Korn	Kalidüngung kval/ha
B 21	Korn	41,77	1,36	65,14	1,83	14,16	8,83	5,52
K_2PN	Stroh	23,37	0,47					
B 20	Korn	39,18	1,18	62,08	1,57	11,10	6,24	2,76
KPN	Stroh	22,90	0,39					
B 19	Korn	32,94	0,82	50,98	0,95	—	—	—
PN	Stroh	18,04	0,13					

Wie die theoretische Ableitung es verlangt, ist zwar noch eine Kaliwirkung bei den mitteltief wurzelnden Erbsen eingetreten, aber sie ist merklich nur noch zwischen der PN- und der KPN-Parzelle, dagegen zwischen der KPN- und K_2PN-Parzelle bereits recht gering.

Ganz anders als für die tiefwurzelnden Gewächse ist allerdings der Boden für Flachwurzler zu beurteilen, die den Untergrund nicht weitgehend auszunutzen in der Lage sind.

Nimmt man auch nur eine Ausnutzung der Hälfte des Untergrundes an, so ermäßigt sich die verfügbare Kalimenge bereits auf 1 Kiloäquivalent, was kaum für eine einzige Fruchtart zur Produktion einer höheren Ernte ausreicht. Je geringer die Wurzeln in die Tiefe gehen, desto stärker muß das Düngungsbedürfnis, aber auch der Düngungserfolg sich bemerkbar machen, bei Zwiebeln und Hackfrüchten, Bohnen usw. sind ganz enorme Erntesteigerungen durch hohe Kaligaben von vornherein zu erwarten.

b) Der Boden von Avenhorn.

Der Boden der Besitzung Avenhorn des Herrn Spaans, der von der N. V. Vereenigden Kalimaatschappij seit 2 Jahren als Versuchsfeld benutzt wird, nimmt unter den Seekleiböden eine gewisse Sonderstellung insofern ein, als er ein Küstenmoor auf Seeschlickunterlage repräsentiert.

Bei der Kultur dieses Bodens muß erfahrungsgemäß das Heraufbringen des Schlickes ängstlich vermieden werden, da dieser sich bei Nässe in einen schmierigen Brei verwandelt, bei trockener Witterung dagegen steinhart zusammenschrumpft und tief reißt, was bei einem linearen Schrumpfungskoeffizienten von 9,2, der für einen reinen Mineralboden sehr hoch ist, nicht verwundern kann.

Dem hohen Schrumpfungskoeffizienten entsprechend ist der absolute Tongehalt des Untergrundes mit 36,2 % recht hoch. Die minimale Wasserkapazität der Krumenschicht ist mit 87,6 %, die des Untergrundes mit 50,3 immerhin noch als sehr hoch anzusprechen.

Die Reaktion der Krumenschicht ist praktisch mit 6,5 p_H neutral, die des Untergrundes mit 7,4 bereits ausgesprochen alkalisch. Bei beiden Schichten sind dementsprechend die Komplexe fast vollständig abgesättigt. Die Konzentration der Bodenlösung ist wesentlich höher als bei den bisher behandelten Böden, nämlich 1,52 Milliäquivalent Base in der Krume und 1,22 Milliäquivalent Base im Untergrunde, wovon auf Calcium rund 74 % in Krume und Untergrund, auf Kalium in der Krume 1.,9 %, im Untergrunde 2,5 %, im letzteren Falle neben

beinahe 23 % Natrium, entfallen. Magnesia tritt nur im Untergrunde in Spuren in der Bodenlösung auf.

Die totale Sorptionskapazität der Krume, die bei einer durchschnittlichen Sorptionskapazität von 4,0 Milliäquivalent Base je Prozent C zum weitaus größten Teil auf die humose Substanz entfällt, ist mit 40,2 Milliäquivalent im Obergrunde sehr bedeutend bei einem Gehalt von 6,8 Milliäquivalent H-Ion, d. h. 68,5 ccm hydrolytischer Azidität.

In der Zusammensetzung des Komplexes auf *S* bezogen, macht sowohl in der Krume wie im Untergrunde wiederum konform mit den Untersuchungen HISSINKS (18) der Kalk rund 90 % aus, neben dem sich im Obergrunde 4,5 % K, im Untergrunde 1,6 % K finden.

Die Parzelle, auf der das Bodenmuster entnommen war, ist dauernd stark mit Stallmist und Jauche gedüngt worden. Entsprechend den sehr hohen Neubauerzahlen, die auch mit dem analytisch gefundenen Kaligehalt in guter Übereinstimmung stehen, ist die Parzelle als noch sehr reichlich mit Kali versorgt zu bezeichnen, was zum nicht geringen Teil auf die Jauche- und Stallmistdüngung zurückzuführen sein dürfte. Die Kalilieferung beträgt:

a) aus Lösung:	Krume	3,52	Kiloäquivalent	K
	Untergrund	1,03	,,	K
b) aus Komplex:	Krume	0,98	,,	K
	Untergrund	0,43	,,	K
	Summe:	5,96	Kiloäquivalent	K

Es kann selbst für die anspruchvollsten Gewächse auf diesem Boden von einem Kalimangel keine Rede sein. Tatsächlich ist die im Versuch beobachtete Steigerung auch recht gering, wie die folgenden Ziffern beweisen:

Versuch 1930 — Heu

Allgemeine Düngung: 800 kg Superphosphat und 400 kg Kalksalpeter pro ha

Ernte:	mit 500 kg 40er Kalidüngesalz	=	7905 kg
	mit 250 ,, ,, ,,	=	8022,5 ,,
	ohne Kali	=	7080 ,,

Versuch 1931 — Heu

Düngung: 800 kg Superphosphat und 400 kg Kalksalpeter pro ha
Kali und Phosphorsäure gestreut im Dezember 1930
Kalksalpeter gestreut am 18. April 1931

Ernte: 12. Juni 1931

Parzellen:	mit 500 kg 40er Kalidüngesalz	=	durchschnittlich	6140 kg
	mit 250 ,, ,, ,,		,,	5810 ,,
	ohne Kali	=		5450 ,,

Damit ist das Problem dieses Bodens aber nicht erschöpft, denn so gut die Kaliversorgung ist, soviel läßt die Magnesiaversorgung zu wünschen übrig. Die Lieferung an Magnesia aus der Bodenlösung der Krumenschicht ist nämlich praktisch 0, die des Untergrundes mit rund 0,3 Kiloäquivalent recht gering.

Es besteht nach den Analysendaten mithin eine sehr große Wahrscheinlichkeit, daß ein Ersatz des verwendeten 40er Kalidüngesalzes durch Kalimagnesia zu wesentlich höheren Düngungserfolgen führen würde.

c) Der Boden von Ouderdijk.

Auf eine leicht humose Krumenschicht von 30 cm, die eine vorzügliche Struktur bei guter minimaler Wasserkapazität und guter Wasserbeweglichkeit besitzt und als ein humoser toniger Feinsand zu bezeichnen ist, folgt ein 10 cm starker, ausgesprochener Illuvialhorizont mit rund 38 % Tongehalt und recht geringer Wasserbeweglichkeit, den nur noch einzelne Wurzeln passieren. Darunter liegt von 40—50 cm eine Torfschicht, die ihrerseits auf Seeschlick aufliegt, der einen ganz verschwindenden Kohlenstoffgehalt von 0,9 % besitzt.

Dieser Seeschlick ist ein ausgesprochener Feinsand mit nur 5,4 % Ton. Trotzdem ist die Durchlüftung dieses Untergrundes außerordentlich schlecht, wie nicht nur die blauen Reduktionsstreifen beweisen, die den ganzen Schlick durchziehen, sondern vor allen Dingen das Auftreten großer Mengen durch den Geruch deutlich feststellbaren Schwefelwasserstoffes beweist. Es ist völlig ausgeschlossen, daß irgendwelche Wurzeln der Kulturgewächse unter diesen Umständen in den Seeschlick eindringen.

Als Hauptzone der Wurzelverbreitung ist ohne Zweifel nur die Krume zu betrachten, d. h. es handelt sich um einen durch den Illuvialhorizont vielleicht sekundär flachgründig gewordenen Boden.

Chemisch ist die Krume und der Illuvialhorizont praktisch neutral. Die Torfschicht und der Seeschlick dagegen sind ganz ausgesprochen alkalisch mit einem sehr hohen Gehalt an löslichen Salzen von 4,6 bzw. 3,5 Milliäquivalent, der zu rund 60 % aus Natriumsalzen, und zwar Chlorid und Sulfat besteht. In diesen beiden Untergrundschichten treten auch verhältnismäßig große Mengen von Magnesia in der Lösung

auf, und zwar 0,7 bzw. 0,5 Milliäquivalent. Auch eine deutliche Anreicherung von löslichem Kali von 0,1—0,14 Milliäquivalent ist zu konstatieren, während in der Krumenschicht nur 0,03 Milliäquivalent, im Illuvialhorizont nur 0,02 Milliäquivalent K zur Verfügung stehen.

Die Sorptionskapazität der Krumenschicht entspricht mit 23,8 Milliäquivalent dem, was zu erwarten war. Sie ist ebenso wie die etwas größere Sorptionskapazität des Illuvialhorizontes zu rund 90% gesättigt, und zwar wesentlich mit Kalk unter starkem Zurücktreten des Kalis, das nur im Untergrunde prozentisch und absolut mit 0,75 Milliäquivalent stärker in den Vordergrund tritt.

Außer auf der seit 3 Jahren ohne Kalidüngung gebliebenen Versuchsparzelle, deren Profil soeben beschrieben worden ist, wurde auf der seit 3 Jahren mit insgesamt 4000 kg Kalimagnesia gedüngten Parzelle die Krumenprobe B 3 entnommen. Alle Parzellen hatten im Laufe der 3 Jahre 3000 kg Superphosphat und 1500 kg Chilesalpeter erhalten bei einer Fruchtfolge Kartoffeln—Bohnen—Kartoffeln.

Tabelle 22. K-Bilanz.

		Parzelle ohne K	Parzelle mit K
Gesamtgehalt in Lösung	0—30 cm . .	1,03	1,37
	30—40 „ . .	0,24	(0,24) nicht bestimmt
Gesamtgehalt im Komplex	0—30 „ . .	10,0	22,2
	30—40 „ . .	9,0	(9,0) nicht bestimmt
Gesamt		20,3	32,6
Anreicherung gefunden			(12,3)
In der Düngung zugeführt			20,0
Von 3 Ernten entnommen			7—8 Kiloäquivalent
Rechnerische Anreicherung			± 12—13 Kiloäquivalent

Lieferung aus Lösung	0—30 cm	1,03
„ „ „	30—40 „	0,24
„ „ Komplex		0,64
	Gesamt	1,91

Sehr bemerkenswert ist die durch die starke Düngung während dreier Jahre auf der Kaliparzelle festzustellende Anreicherung, die in den Absolutwerten noch viel deutlicher ins Auge fällt als aus den Analysendaten. Aus der durchschnittlichen Erntehöhe der ungedüngten Parzelle während der 3 Versuchsjahre berechnet sich eine Kali-

entnahme von 7—8 Kiloäquivalent, so daß sich rechnerisch eine Anreicherung von 12—13 Kiloäquivalent auf der Kaliparzelle ergeben würde, die sich unter Einrechnung des Schätzungscharakters des letzteren Wertes vorzüglich mit der tatsächlich analytisch feststellbaren Anreicherung deckt.

Würde man bei diesem Boden sein Urteil auf den analytisch festgestellten Kaligehalt basieren, so wäre der Schluß, daß man es mit einem recht kalireichen Boden zu tun hat, bei welchem von einer Kalidüngung zum mindesten kein nennenswerter Erfolg zu erwarten ist, unabweislich. Tatsächlich ist aber das Gegenteil der Fall.

Die Gesamtlieferung des Profiles, von dem wegen des Schwefelwasserstoffgehaltes des Untergrundes bestimmt nicht mehr als nur 40 cm Bodentiefe für die Nährstoffversorgung der Pflanzen in Frage kommen, da auch die Torfschicht noch Schwefelwasserstoff enthält und die Wasserbeweglichkeit des Illuvialhorizontes so gering ist, daß von einem Lösungszufluß aus der Torfschicht kaum in nennenswertem Maße die Rede sein kann, beläuft sich auf 1,91 Kiloäquivalent für den momentanen Zustand des Bodens. Das ist eine Kalimenge, die nur zur Produktion von etwa ein Drittel einer Höchsternte an Kartoffeln ausreicht. Der Boden ist also für Hackfrüchte hochgradig kalibedürftig, und zwar so weitgehend, daß man mit Sicherheit den Höchstertrag erst bei den stärksten Kaligaben erwarten könnte, unter einer Steigerung bis zu 300%.

Das gilt für den momentanen Stand der K-Bilanz der ungedüngten Parzelle. Da diese sich bei den geringen darauf erzielten Ernten nicht wesentlich verschoben haben dürfte, kann man mit ziemlicher Sicherheit annehmen, daß sich die Kartoffelernte des Jahres 1931 auf den verschieden gedüngten Parzellen entsprechend abgestuft hat. Das ist in der Tat in vollem Umfange der Fall, wie die nachstehenden Versuchsresultate der Parzellen zeigen:

Versuch 1931

Frühkartoffeln

Düngung je ha:	1000 kg	Superphosphat	
	500 „	Chilesalpeter	
	1400 „	Patentkali	Ernte: 6375 kg Kartoffeln
	1000 „	„	5075 „ „
	600 „	„	1975 „ „
	ohne Kali		1400 „ „

Tabelle 23. Bodenbeschreibung.

Zeichen und Nr. der Probe	Land	Provinz	Ort	Tiefe des Musters in cm	Farbe	Bemerkungen über den Bau des Profils und Grundwasserstand	Bemerkungen über Ertragsklasse, Fruchtfolge, Düngung, evtl. über natürliche Vegetation
B 12	Holland	Noord-Brabant	Raamsdonkveer	0—30	graugelb	Leicht humoser toniger Lehm, braun. Von Wurzeln durchsetzt	Ganz enorme Wirkung bei 800 kg, schwache bei 400 kg Patentkali (B 12, O 12)
O 12	,,	,,	,,	30—90	desgl.	Geflammter Untergrund, braune Oxydationsstellen, Wurzeln fehlen	
B 8	,,	Gelderland	Ammerzoden	0—30	graubraun	Rheinalluvium, viele Muschelschalen, sehr schwerer Ton, ohne merkliche Schichtung nach unten schwerer werdend	Außerordentlich starker Erfolg der Kalidüngung (B 8, O 8, C 8)
O 8	,,	,,	,,	30—60	graugelb	Geflammter Untergrund, nach unten grauer	
C 8	,,	,,	,,	60—90	desgl.	Das ganze Profil bis unten stark durchwurzelt	
B 9	,,	,,	,,	0—30	graubraun		Volldüngungsparzelle
B 10	,,	,,	,,	0—30	desgl.		Ohne K
B 11	,,	,,	,,	0—30	desgl.		$^1/_2$ K
B 4	,,	,,	Hedel	0—22	desgl.	Leicht humoser Lehm, locker	Vorparzelle (B 4, O 4, C 4) — Bei 160 kg pro Jahr und ha nach 5 Jahren noch starker Kalimangel. Bei 5 × 1200 kg Kalimangel nahezu verschwunden. Wirkung sofort bei mehr als 1000 kg. Höchstwirkung: 1500 bis 2000 kg
O 4	,,	,,	,,	22—42	gelbgrau	Lehm, etwas sandig, fester gelagert	
C 4	,,	,,	,,	42—70	gelbbraun	Braun und schwarz geflammter, ziemlich plastisch. Lehm mit Oxydationsstreifen	
B 5	,,	,,	,,	0—22	graubraun		Volldüngung, Rotkohl
B 6	,,	,,	,,	0—22	desgl.		Kein Kali, Rotkohl
B 7	,,	,,	,,	0—22	desgl.		$^1/_2$ K

III. Die Flußkleiböden.

Raamsdonkveer, Hedel und Ammerzoden (Bodenbeschreibung: Tab. 23).

Bei den sogenannten Flußkleiböden Hollands handelt es sich um Rheinalluvium. Wie die mineralogische Übersichtstabelle 24 zeigt, zeichnet sich dieses durch einen teilweise hohen Gehalt an Muschel-

Tabelle 24. Mineralogische Untersuchung des Bodens.

Zeichen und Nummer der Probe	Korngröße mm	Zusammensetzung der Feinerde										
		Quarz	Orthoklas usw.	Plagioklas	Kaliglimmer	Magnesiumglimmer	Amphibole und Pyroxene	Muschelschalen usw.	Kalkkonkretionen	Eisenkonkretionen	Organische Reste	Holzkohle
B 12	2—0,2	28						60		5	5	
	0,2—0,02	65	?	5	?	5	5	20		?		
O 12	2—0,2	28				2		20		50		
	0,2—0,02	67	?	3	?	5	5	10		10		
B 8	2—0,2	93				2				2	3	
	0,2—0,02	89	1	?	?	3	2			5		
O 8	2—0,2	94	1							5		
	0,2—0,02	89	1	1	?	1	3			5		
C 8	2—0,2	24			1			15		60		
	0,2—0,02	68	1	3	1	3	4	10		10		
B 9	2—0,2	93								2	5	
	0,2—0,02	92	1	2	?	2	3					
B 10	2—0,2	87							3	5	5	
	0,2—0,02	95	1	1		1	2					
B 11	2—0,2	95							2	2		1
	0,2—0,02	92	2	1		1	2		2			
B 4	2—0,2	97								1	2	
	0,2—0,02	90	1	4	2	1	2					
O 4	2—0,2	96			2					2		
	0,2—0,02	88	2	5	2	1	2					
C 4	2—0,2	90			2				3	5		
	0,2—0,02	77	2	5	2	2	4		8			
B 5	2—0,2	91			2	?			3	2	2	
	0,2—0,02	87	2	3	1	2	3		2			
B 6	2—0,2	92						3		2	3	
	0,2—0,02	94	1	2	?	1	2					
B 7	2—0,2	90						3		2	3	2
	0,2—0,02	93	1	2	?	1	3					

schalen aus, der besonders in den Böden von Raamsdonkveer hervortritt. Außerdem sind im Vergleich zu den übrigen Böden Hollands in diesem Flußalluvium sehr viel mehr Feldspate enthalten. Die Mineralreserve ist danach im großen und ganzen als verhältnismäßig gut zu bezeichnen.

Physikalisch machen dem Augenschein nach diese Böden teilweise den Eindruck mehr oder weniger schwerer Lehme bis Tone, ohne es jedoch tatsächlich zu sein. Wie die Tabelle der physikalischen Untersuchungsdaten (25) zeigt, ist auch nicht einer der untersuchten Böden als Ton zu klassifizieren, und gerade die dem Augenschein nach sehr schweren Böden von Raamsdonkveer besitzen nur zwischen 9 und 15% Tonsubstanz kleiner als 0,002 mm. Dementsprechend ist die minimale Wasserkapazität

Tabelle 25. Physikalische Untersuchung des Bodens.

Zeichen und Nummer der Probe	In % Trockensubstanz Mechanische Zusammensetzung								Strukturfaktor	Hygroskopisches Wasser	Minimale Wasserkapazität	Totes Wasser	Kritische Schicht	Steighöhe		Bei Ausgang von			
	Grobsand	Feinsand	Schluff	Ton	Grobsand	Feinsand	Schluff	Ton						Total	b × 1000	feste Teile	Wasser	Luft	Lineare Schrumpfung
	I	I	I	I	II	II	II	II			%	%	cm			%	%	%	%
B 12	1,4	57,3	26,7	14,6	1,6	72,3	22,7	3,4	77	3,57	31,5	5,5	61,7	667	28	58	40	2	4,0
O 12	1,0	66,7	23,4	8,9	1,2	78,4	17,2	3,2	64	2,38	24,5	3,8	67,0	714	20	57	30	13	1,0
B 8	11,8	34,1	28,2	25,9	14,9	47,7	31,0	6,4	75	6,78	40,9	10,3	41,6	455	36	49	47	4	8,8
O 8	4,3	24,8	33,8	37,1	9,2	40,0	38,2	12,6	66	7,76	40,7	11,9	36,8	417	70	52	47	1	10,0
C 8	2,8	37,3	32,9	27,0	5,4	53,0	33,3	8,3	69	4,72	37,8	7,2	72,4	800	45	53	45	2	7,5
B 9	13,5	37,2	28,3	21,0	17,4	50,3	26,9	5,4	74	5,53	36,8	8,6	49,3	526	20	53	43	4	7,0
B 10	11,6	33,1	29,4	25,9	20,3	69,8	5,6	4,3	83	6,77	39,7	10,3	44,2	474	23	51	46	3	9,0
B 11	8,0	31,8	34,1	26,1	13,9	45,4	33,9	6,8	74	7,02	47,2	10,7	43,4	476	38	45	49	6	11,0
B 4	44,1	28,9	13,6	13,4	44,0	40,4	13,1	2,5	81	3,48	28,3	5,5	26,4	280	30	58	35	7	2,0
O 4	38,0	35,1	12,2	14,7	38,0	43,2	14,8	4,0	73	2,80	24,4	4,4	55,3	588	18	61	32	7	3,0
C 4	6,1	51,2	21,4	21,3	8,6	68,0	19,2	4,2	80	4,66	30,6	7,1	84,9	909	22	55	37	8	5,2
B 5	55,3	25,3	11,8	7,6	52,4	33,7	12,9	1,0	80	1,92	18,1	3,0	48,5	513	15	60	23	17	0,5
B 6	32,2	40,4	16,1	11,3	35,2	48,6	13,2	3,0	74	3,35	28,1	5,1	46,2	488	15	55	33	12	1,0
B 7	20,9	49,1	15,6	14,4	24,7	58,2	14,2	2,9	80	3,28	26,3	5,0	54,0	571	15	53	28	19	2,0

Tabelle 26. Chemische Untersuchung des Bodens (Analysendaten).

Zeichen und Nummer der Probe	p_H in Wasser	p_H in n-KCl	C %	N %	C/N	P_2O_5 nach NEUBAUER mg	Zusammensetzung der löslichen Salze in Milliäquivalent: Karbonate	Na	K	Mg/2	Ca/2	Zusammensetzung der Komplexsättigung in Milliäquivalent: H	Al/3	Na	q_{Na}	K	q_K	Mg/2	q_{Mg}	Ca/2	q_{Ca}	S	q_S	T	V %	Basensumme in Lösung und Komplex: Total	Na	K	Mg/2	Ca/2	K nach NEUBAUER in Milliäquivalent
B 12	8,4	7,5	1,98	0,16	12	5,7	0,22	0,12	<0,01	—	0,71	0,55	—	0,20	87	0,08	220	1,03	17,0	13,48	1,3	14,79	1,18	15,34	96	15,63	0,32	0,09	1,03	14,19	0,41
O 12	8,6	7,7	0,97	0,06	16	—	0,28	0,13	0,01	—	0,79	0,45	—	0,21	45	0,04	230	0,64	14,7	8,72	1,1	9,61	0,98	10,06	96	10,54	0,34	0,05	0,64	9,51	0,32
B 8	6,4	5,2	2,37	0,27	9	10,4	—	0,09	<0,01	—	0,33	3,00	—	0,23	87	0,09	220	2,58	7,8	20,41	0,98	23,31	0,86	26,91	87	23,74	0,32	0,10	2,58	20,74	0,38
O 8	6,9	5,8	1,51	0,15	10	2,3	0,03	0,16	<0,01	—	0,56	2,00		0,24	190	0,19	240	3,21	14,2	26,85	1,7	30,49	1,50	32,58	94	31,22	0,40	0,20	3,21	27,41	0,50
C 8	8,4	7,9	0,94	0,07	13	5,2	0,33	0,09	<0,01	—	0,64	0,59		0,17	87	0,10	150	1,47	10,0	18,22	0,81	19,96	0,74	20,55	97	20,70	0,26	0,11	1,47	18,86	0,26
B 9	6,9	5,9	2,34	0,24	10	13,9	—	0,23	0,01	—	0,65	2,37		0,20	64	0,15	110	2,43	6,9	17,12	0,98	19,96	0,84	22,33	89	20,85	0,49	0,16	2,43	17,77	0,64
B 10	6,9	5,8	2,17	0,27	8	13,1	0,05	0,10	<0,01	—	0,43	2,91		0,17	130	0,11	200	2,30	9,8	21,93	1,0	24,51	0,92	27,42	89	25,05	0,27	0,12	2,30	22,36	0,28
B 11	8,0	7,0	2,93	0,35	8	14,7	0,07	0,10	<0,01	—	0,64	1,02		0,30	80	0,11	220	2,63	9,1	24,74	0,97	27,78	0,86	29,40	95	28,53	0,40	0,12	2,63	25,38	0,42
B 4	5,8	4,8	1,72	0,18	10	10,3	—	0,18	0,01	—	0,41	3,31		0,09	84	0,08	95	1,21	6,3	7,63	1,0	9,01	0,84	12,32	73	9,61	0,27	0,09	1,21	8,04	0,33
O 4	6,5	5,4	1,04	0,08	13	0,8	—	0,11	<0,01	—	0,32	1,67		0,05	130	0,07	93	0,75	8,7	8,39	0,77	9,26	0,70	10,93	85	9,70	0,16	0,08	0,75	8,71	0,19
C 4	7,8	7,4	1,03	0,06	17	5,2	0,23	0,10	<0,01	—	0,69	0,77	—	0,06	440	0,07	380	1,62	16,4	17,74	1,5	19,49	1,36	20,26	96	20,29	0,16	0,08	1,62	18,43	0,15
B 5	7,6	7,0	1,34	0,13	10	7,2	0,10	0,06	0,02	—	0,61	0,71	—	0,15	62	0,08	120	0,85	10,9	5,91	1,6	6,99	1,33	7,70	91	7,68	0,21	0,10	0,85	6,52	0,30
B 6	7,7	6,9	1,74	0,19	9	7,2	0,13	0,05	<0,01	—	0,76	0,89	—	0,17	88	0,06	250	0,96	15,6	11,92	1,3	13,11	1,14	14,00	94	13,93	0,22	0,07	0,96	12,68	0,13
B 7	8,0	7,0	1,99	0,17	11	8,5	0,08	0,06	<0,01	—	0,66	0,60	—	0,17	52	0,08	110	1,45	5,9	11,65	0,73	13,35	0,64	13,95	96	14,08	0,23	0,09	1,45	12,31	0,40

und Hygroskopizität dieser Böden zwar nicht hoch, aber als gut zu betrachten. Die Wasserbeweglichkeit ist in sämtlichen Böden sowohl in Krume wie in den Untergrundschichten gut bis vorzüglich. Hohe lineare Schrumpfungskoeffizienten, d. h. Neigung zum Reißen beim Austrocknen, zeigt nur der tonreichste Boden B 8 und O 8 und die Krume B 11 des Versuchsfeldes Ammerzoden. Ganz allgemein ist zur physikalischen Gestaltung der Böden noch zu bemerken, daß, wie in allen Alluvialböden fluviatiler Herkunft, die Bodeneigenschaften auf kurze Distanzen einem großen Wechsel unterliegen, was einen genauen Vergleich der Böden untereinander erschwert. Das gilt in ganz besonderem Maße für das Versuchsfeld Hedel, bei dem zwischen B 5 und B 7 der Gehalt an Grobsand zwischen 55 und 21 %, der Gehalt an Ton zwischen 7 und 14 % wechselt, also um 100 % schwankt.

Chemisch sind mit Ausnahme der vollkommen ungedüngten Parzelle B 4 des Versuchsfeldes Hedel alle Böden neutral bis ausgesprochen alkalisch (Tabelle 26). Es ist dies nicht weiter verwunderlich, denn bei Durchführung der Mineralanalyse wurde ein großer Teil an Muschelschalen festgestellt (Tabelle 24). Der Sättigungsgrad, der nur bei den tonreichsten Proben wesentlich über 15 Milliäquivalent totale Sorptionskapazität hinausgeht, schwankt, wenn man von der ganz ungedüngten Krumenprobe B 4 absieht, zwischen 85 und 96 %, woraus sich immerhin noch durchaus nennenswerte hydrolytische Aziditäten ergeben, die, wie an anderer Stelle gezeigt ist, auch bei noch stärker alkalischen Böden niemals fehlen.

a) Der Boden von Raamsdonkveer

besitzt eine rund 30 cm mächtige Krumenschicht, die als leicht humoser toniger Lehm zu bezeichnen ist (B 12). Davon setzt scharf ein blaubraun geflammter Untergrund ab, der sich durch die blauen Reduktionsstellen als schlecht durchlüftet erweist. Trotzdem ist diese Untergrundschicht noch von Wurzeln des Weizens durchsetzt, während sich die im Berichtsjahr angebauten Bohnen mit ihrer Wurzelentwicklung völlig auf die Krume beschränken.

Die Reaktion sowohl von Krume und Untergrund ist sehr stark alkalisch (8,4 bzw. 8,6 p_H). Die Bodenlösung ist wenig konzentriert (0,8 bzw. 0,9 Milliäquivalent je 100 g Boden, wovon 85 % auf Kalk entfallen). Kali ist in der Bodenlösung der Krume sowie im Untergrund mit etwa 1 % der Basensumme vertreten. Magnesia fehlt völlig.

Die Sorptionskapazität beträgt im Obergrunde 15,34, im Untergrunde 10,06 Milliäquivalent; in beiden Fällen ist sie zu fast 90 % von S mit Kalk und zu etwa 7 % mit Magnesia gesättigt.

Kali tritt als Bestandteil der Komplexe in sämtlichen untersuchten Böden des Rheinalluviums außerordentlich stark zurück und macht nur Bruchteile von Prozenten aus. Die Kali- und Magnesiabilanz des Profiles ergibt die nachstehende Tabelle 28:

Es handelt sich also um einen hochgradig kalibedürftigen Boden, soweit Flachwurzler angebaut werden.

Wie in allen bisher behandelten Fällen ist diese objektiv aus den Daten der Bodenanalyse abgeleitete Folgerung durch die Versuchs-

Tabelle 27. Untersuchung des

Zeichen und Nummer der Probe	Zusammensetzung der löslichen Salze % Total				Zusammensetzung der sorbierten Basen % S				Minimales Porenvolumen	Wasserbilanz: Mögliches Wasser			Statisch verfügbares Wasser			Dynamisch verfügbares Wasser	
	Na	K	Mg/2	Ca/2	Na	K	Mg/2	Ca/2		W %	M. W. cbm pro Schicht	Summe	St. %	St. W. cbm pro Schicht	Summe	cbm pro Schicht	Summe
B 12	14,3	1,2	—	84,5	1,4	0,5	7,0	91,1	20,7	29,4	1310	3660	23,9	1060	3050	1060	[illegible]
O 12	14,0	1,1	—	84,9	2,2	0,4	6,6	90,7	27,5	24,5	2350		20,7	1990		1990	
B 8	20,9	2,3	—	76,8	1,0	0,4	11,1	87,5	21,5	37,2	1480	3910	26,9	1070	2610	1070	[illegible]
O 8	21,9	1,4		76,7	0,8	0,6	10,5	88,1	15,9	28,0	1270		16,1	730		730	
C 8	12,2	1,3	—	86,5	0,9	0,5	7,4	91,2	19,4	24,0	1160		16,8	810		810	
B 9	25,8	1,1		73,1	1,3	0,8	12,2	85,7	20,4	33,7	1410	3840	25,1	1050	2590	1050	[illegible]
Untergrund O 8 + C 8											2430			1540		1540	
B 10	18,5	1,9	—	79,6	0,7	0,4	9,4	89,5	18,8	35,7	1450	3880	25,4	1030	2570	1030	[illegible]
Untergrund O 8 + C 8											2430			1540		1540	
B 11	13,3	1,3	—	85,4	1,1	0,4	9,5	89,0	22,3	42,5	1580	4010	31,8	1180	2720	1180	[illegible]
Untergrund O 8 + C 8											2430			1540		1540	
B 4	30,0	1,7		68,3	1,0	0,9	13,5	84,6	24,4	27,7	930	2770	22,2	750	2140	750	[illegible]
O 4	25,0	2,3		72,7	0,5	0,7	8,2	90,6	19,5	22,6	730		18,2	590		590	
C 4	12,5	1,2		86,3	0,3	0,4	8,3	91,0	21,6	25,1	1110		18,0	800		800	
B 5	8,7	2,9	—	88,4	2,1	1,1	12,2	84,6	25,1	18,1	710	2550	15,1	590	1980	590	[illegible]
Untergrund O 4 + C 4											1840			1390		1390	
B 6	6,1	1,2	—	92,7	1,3	0,5	7,3	90,9	29,8	28,1	940	2780	23,0	770	2160	770	[illegible]
Untergrund O 4 + C 4											1840			1390		1390	
B 7	8,2	1,4	—	90,4	1,3	0,6	10,9	87,2	30,3	26,3	900	2740	21,3	730	2120	730	[illegible]
Untergrund O 4 + C 4											1840			1390		1390	

Tabelle 28. Kali- und Magnesiabilanz.

		K kval	Mg kval
Gehalt in Lösung	0—30 cm	0,44	—
	30—90 „	0,90	—
Gehalt im Komplex	0—30 „	3,5	45,1
	30—90 „	3,6	58,0
Gesamt		8,4	103,1
Lieferung aus Lösung	0—30 cm	0,44	—
Lieferung aus Komplex	0—30 „	0,26	3,2
Gesamtlieferung		0,70	3,2
Bedarf einer Bohnenernte		2,75	0,91
Differenz		— 2,05	+ 2,3

Bodens (Übersichtsdaten).

Kali-Magnesia-Kalk-Bilanz (Kiloäquivalent pro ha)

Anzurechnende Schichtdicke in cm	G_{tr} t/cm	Verfügbares Kali je ha und Saison: aus Lösung	aus Komplex	aus Mineral	Summe pro Schicht	Total	Verfügbare Magnesia je ha und Saison: aus Lösung	aus Komplex	Summe pro Schicht	Total	Verfügbarer Kalk je ha und Saison: aus Lösung	aus Komplex	Summe pro Schicht	Total
30	146	0,44	0,08	0,01	0,53	1,57		1,1	1,1	3,2	30,9	14,7	45,6	146,3
60	151	0,90	0,13	0,01	1,04			2,1	2,1		71,6	29,1	100,7	
30	132	0,40	0,07	0,01	0,48	1,61		1,9	1,9	4,8	13,2	14,7	27,9	113,5
30	150	0,45	0,10	0,01	0,56			1,7	1,7		25,2	14,6	39,8	
30	159	0,48	0,08	0,01	0,57			1,2	1,2		30,5	15,3	45,8	
30	138	0,41	0,13	0,01	0,55	1,68		2,0	2,0	4,9	26,9	14,3	41,2	126,8
		0,93	0,18	0,02	1,13			2,9	2,9		55,7	29,9	85,6	
30	134	0,40	0,07	0,01	0,48	1,61		1,6	1,6	4,5	17,3	14,9	32,2	117,8
		0,93	0,18	0,02	1,13			2,9	2,9		55,7	29,9	85,6	
30	123	0,37	0,07	0,01	0,45	1,58		1,6	1,6	4,5	23,6	15,0	38,6	124,2
		0,93	0,18	0,02	1,13			2,9	2,9		55,7	29,9	85,6	
22	150	0,33	0,14	0,01	0,48	1,45		2,1	2,1	4,9	13,5	12,7	26,2	97,8
20	165	0,33	0,10	0,01	0,44			1,1	1,1		10,6	12,5	23,1	
28	157	0,44	0,08	0,01	0,53			1,7	1,7		30,8	17,7	48,5	
22	157	0,69	0,16	0,02	0,87	1,84		1,8	1,8	4,6	21,0	12,6	33,6	105,2
		0,77	0,18	0,02	0,97			2,8	2,8		41,4	30,2	71,6	
22	146	0,32	0,08	0,01	0,41	1,38		1,1	1,1	3,9	24,4	14,0	38,4	110,0
		0,77	0,18	0,02	0,97		—	2,8	2,8		41,4	30,2	71,6	
22	145	0,32	0,09	0,01	0,42	1,39	—	1,7	1,7	4,5	21,1	13,6	34,7	106,3
		0,77	0,18	0,02	0,97		—	2,8	2,8		41,4	30,2	71,6	

resultate in vollem Umfange erfüllt, wie die exakten zur Verfügung stehenden Versuchsresultate von diesen Feldern beweisen.

Im Jahre 1930 wurden als Versuchsfrucht Zuckerrüben angebaut, denen Kali in Form von 40er Kalidüngesalz in mittleren bis sehr hohen Gaben von 800 kg neben Superphosphat und Kalksalpeter verabfolgt wurde. Das Ergebnis zeigt die folgende Tabelle:

Versuchsfeld van Laarhoven, Raamsdonkveer.

Versuch 1930 — Zuckerrüben

Düngung: 800 kg Superphosphat + 600 kg Kalksalpeter	Ernte	Zuckergehalt	Tr.-Subst.
+ 800 „ 40er Kalidüngesalz	34500 kg	18,7 %	24,5 %
+ 400 „ „ „	35625 „		
ohne Kali	34150 „	18,3 %	24,1 %

Wie nach den Eigenschaften des Bodens zu erwarten war, ist der praktische Erfolg der Düngung gleich Null. Von einer Erntesteigerung durch die Kalidüngung ist weder bei der mittleren noch bei der hohen Gabe etwas zu merken.

Im Jahre 1931 wurde dieselbe Parzelle mit Pferdebohnen bestellt, wobei als Grunddüngung 800 kg Superphosphat und 200 kg Kalksalpeter gegeben wurde, die durch 400 bzw. 800 kg Kalimagnesia ergänzt wurde.

Die Versuchsresultate waren die folgenden:

PN + 800 kg Patentkali	2075 kg Bohnen	3300 kg Stroh
PN + 400 ,, ,,	1675 ,, ,,	2900 ,, ,,
PN	625 ,, ,,	2600 ,, ,,

Die Erntesteigerung beträgt nunmehr über 300%. Sie ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß durch die Bodenbearbeitung das Kali in den Bereich der Wurzeln gelangt ist und dort für die Ernährung verwertet wurde.

b) Die Böden der Versuchsfelder Hedel und Ammerzoden.

Der Boden des Versuchsfeldes Hedel (B4, O4, C4) ist, von Schwankungen abgesehen, auf der noch ungefähr im ursprünglichen Zustande befindlichen Parzelle bis 22 cm Tiefe ein leicht humoser Lehm, der nach unten zu bis zur Tiefe von 70 cm in braun und schwarz geflammten Lehm von ziemlich plastischer Natur mit einem Tongehalt von 21,3% übergeht. Die Wasserbeweglichkeit nimmt im Profil von oben nach unten zu, was nach den Erfahrungen in sonstigen Ländern, in denen diese Frage studiert worden ist, als geradezu idealer Zustand zu betrachten ist.

Die minimale Wasserkapazität der Böden ist mittelmäßig.

Chemisch ist die Krumenschicht mit p_H 5,8 als leicht sauer zu bezeichnen, entsprechend einem Sättigungsgrade V von 73%. Die zweite Bodenschicht hat bei 85% Sättigung eine Reaktion von 6,5, die dritte bei 96% Sättigung eine ausgesprochen alkalische Reaktion von 7,8 p_H. Die Sorptionskapazität der tiefsten Untergrundschicht ist mit 20,26 nahezu doppelt so hoch wie die der beiden darüberliegenden Schichten. Die Konzentration der Bodensalze ist mit 0,6 Milliäquivalent in der Krume, 0,44 in der zweiten Schicht und 0,80 im Untergrunde gering, wobei die Beteiligung des Kalkes an der Zusammensetzung der Boden-

lösung von 68,3 % in der Krumenschicht auf 86,3 % im tiefsten Untergrunde zunimmt. Die prozentische Beteiligung des Kalis zeigt das entgegengesetzte Verhalten, indem sich lösliches Kali in der mit Sicherheit noch bestimmbaren Menge von 0,01 Milliäquivalent nur in der Krumenschicht findet.

Am Komplexbau ist das Kali mit weniger als 1 %, der Kalk mit rund 85 % bis auf 91 % im Untergrunde steigend beteiligt.

Magnesia fehlt in der Bodenlösung völlig und ist seiner absoluten Menge nach in den Komplexen nur gering vertreten bei verhältnismäßig leichter Löslichkeit in der Krumenschicht.

Schon aus diesen mitgeteilten Daten geht hervor, daß es sich um Böden handelt, die auf keinen Fall ausreichend mit Kali versorgt sein können. Dies zeigen auch die Bilanzzahlen (Tabelle 29).

Auf der untersuchten Parzelle, die nach den gemachten Angaben etwa dem Zustande des Feldes vor Beginn der Versuche entspricht, ist eine Kalidüngung zur Hervorbringung von Höchsterträgen notwendig. Wegen der ungemein starken Festlegung der Nährstoffe muß in den ersten Jahren eine Düngung mit mittleren Mengen außer bei Flachwurzlern nur verhältnismäßig kleinen Erfolg gebracht haben, während hohe Gaben sofort beachtenswerte Ergebnisse gezeitigt haben müssen. Erst in späteren Jahren kann sich unter Absinken der Erträge der nur mit Stickstoff und Phosphorsäure versehenen Parzelle auch ein befriedigender Erfolg bei mittleren Gaben zeigen, obwohl auch dann noch immer von den höchsten Kaligaben die beste Wirkung zu erwarten ist. Das ist genau das Verhalten, das das Versuchsfeld in der Tat gezeigt hat, wie die nachfolgenden Resultate beweisen (Tabelle 30).

Der Boden des Versuchsfeldes Ammerzoden (B8, O8, C8) der Vereenigden Kalimaatschappij ist ein typisches, von vielen Muschelschalen durchsetztes Rheinalluvium. Er stellt sich für das Auge als ein schwerer, ohne merkliche Schichtung nach unten plastischer werdender Ton dar, der unterhalb der Krumenschicht von 30 cm Stärke eine bis 60 cm tief reichende braun geflammte Zone enthält, an die ein gleichmäßig grauer Ton mit besonders viel Muschelresten anschließt. Das gesamte Profil ist bis zur größten aufgegrabenen Tiefe von rund 1 m durchwurzelt.

Nach der mechanischen Analyse ist der Boden als toniger Schluffboden zu charakterisieren, in dem sich die Schicht 30—60 cm durch den sehr viel höheren Tongehalt als die anderen Schichten (37 % gegenüber 26—27 %) deutlich als Illuvialhorizont erweist. Die Wasserbeweglichkeit ist für einen verhältnismäßig so schweren Boden ausgezeichnet, die minimale Wasserkapazität ist nur als mittelmäßig zu bezeichnen. Die Schrumpfungskoeffizienten sind im ganzen Profil mit 7—10 % hoch.

Tabelle 29.

		B 4 Vorparzelle		B 6 ohne Kali		B 7 + ½ Kali		B 5 + 1 K	
		Kiloäquivalent je ha							
		K	Mg	K	Mg	K	Mg	K	Mg
Gehalt in Lösung	0—22 cm	0,33	—	0,32	—	0,32	—	0,69	—
	22—42 „	0,33	—	nicht best.		nicht best.		nicht best.	
	42—70 „	0,44	—	nicht best.		nicht best.		nicht best.	
Gehalt im Komplex	0—22 „	2,64	39,9	1,93	30,8	2,55	46,2	2,76	29,4
	22—42 „	2,31	24,7	nicht best.		nicht best.		nicht best.	
	42—70 „	3,08	71,3	nicht best.		nicht best.		nicht best.	
Summe		9,13	135,9						
Lieferung aus Lösung	0—22 cm	0,33	—						
	22—42 „	0,33	—						
Lieferung aus Komplex	0—22 „	0,21	3,1						
	22—42 „	0,16	1,9						
Gesamt		1,03	5,0						

Tabelle 30.

Versuch 1928

Flachs

Düngung: 800 kg Superphosphat + 500 kg schwefelsaures Ammoniak
+ 1000 „ Patentkali Ernte: 8800 kg
+ 500 „ „ 4400 „
ohne Kali 3200 „

Versuch 1929

Futterrüben

Düngung: 1000 kg Superphosphat + 600 kg Kalksalpeter + 1000 kg Kalk
+ 600 „ 40er Kalidüngesalz Ernte: 63200 kg Rüben 22000 kg Kraut
+ 300 „ „ „ 59300 „ „ 21800 „ „
ohne Kali 35100 „ „ 14800 „ „

Versuch 1930

Saubohnen und Gurken

Düngung: 1000 kg Superphosphat + 300 kg Kalksalpeter und 200 kg Kalksalpeter + 2000 kg Kalk		
+ 1200 kg Patentkali	Ernte: 7600 kg Bohnen	6400 kg Gurken
+ 600 „ „	6400 „ „	6600 „ „
ohne Kali	500 „ „	600 „ „

Der Kaligehalt der Bodenlösung liegt nur bei B 9, d. h. der mit der starken Kaligabe von 1200 kg Kalimagnesia neben 1000 kg Superphosphat und 500 kg Kalksalpeter versehenen Volldüngungsparzelle bei 0,01 Milliäquivalent, und ist bei den anderen Parzellen geringer als dieser Betrag und nicht mehr mit Sicherheit zu bestimmen.

Hinsichtlich des Komplexbaues variieren die *T*- und *S*-Werte erheblich, in den Krumenschichten zwischen 22 und 29 bzw. 20 und 28 Milliäquivalent. Die Sättigung ist der Reaktion entsprechend überall hoch: 87—97%, wobei auf Ca rund 88%, auf Mg 10% entfallen. K ist überall in geringerer Menge als 1%, Na durchschnittlich mit 1% in den Komplexen vertreten. Alle q_S-Werte der Krume liegen erheblich unter 1. Es handelt sich also im Gegensatz zu Hedel um einen ausgesprochen kaliinaktiven Boden.

Die Kali- und Magnesiabilanz gestaltet sich wie folgt:

Tabelle 31.

Vorrat		Parz. O (8) K	Parz. O (8) Mg	Ohne K (10) K	Ohne K (10) Mg	½ K (11) K	½ K (11) Mg	K (9) K	K (9) Mg
In Lösung	0—30 cm . . .	0,40	—	0,40	—	0,37	—	0,41	—
	30—60 „ . . .	0,45	—	nicht best.		nicht best.		nicht best.	
	60—90 „ . . .	0,48	—	nicht best.		nicht best.		nicht best.	
Im Komplex	0—30 „ . . .	3,56	102,2	4,42	92,5	4,06	97,0	6,21	100,6
	30—60 „ . . .	8,55	144,4	nicht best.		nicht best.		nicht best.	
	60—90 „ . . .	4,77	70,1	nicht best.		nicht best.		nicht best.	
Lieferung (II—10)									
aus Lösung	0—90 cm . . .	1,33	—						
aus Komplex	0—90 „ . . .	0,10	2,0						
Total		1,43	2,0						

Die Beurteilung des Bodens ist nach allen vorausgegangenen Erörterungen einfach. Während tief wurzelnde Gewächse, wie Gramineen, bei der hohen Wasserbeweglichkeit des Profils noch ziemlich aus-

10*

reichend mit K und bestimmt ausreichend mit Mg versorgt sind, mithin wesentliche Ernteste igerungen durch K-Düngung nicht mehr zeigen können, sind bei mitteltief wurzelnden Gewächsen, wie Erbsen, noch Ernteste igerungen, wenn auch in bescheidenem Maße, zu erwarten. Groß müssen bei dem hier ausgesprochenen K-Mangel die Erntesteigerungen bei allen Hackfrüchten durch K-Düngung sein, und zwar beim augenblicklichen Zustand des Feldes um so größer, je größer die Kaligabe ist. Diese muß um so besser wirken, je tiefer sie untergebracht ist oder je früher sie gegeben wird, da bei dem inaktiven Charakter der Böden eine Sättigung mit K auch auf der Volldüngungsparzelle noch nicht eingetreten ist. In gleicher Richtung muß, da begleitendes Mg-Ion die K-Festlegung wesentlich herabsetzt, wie aus vorgenommenen Versuchen hervorgeht (s. Tabelle 32), die Verabfolgung des K als Kalimagnesia wirken.

Versuche in dieser Richtung ergaben die folgenden Resultate:

Tabelle 32.

Boden Nr.				y_1 K	y_2 K	y_1 Mg	S_K	ϱ_K
O 22	50 u.	100 mval	K ($^n/_{10}$ KCl-Lösung) . . .	17,51	20,68		25,32	0,88
	50	100	K ($^n/_{10}$ K_2SO_4-Lösung) . .	19,07	21,90		25,71	0,68
	50	100	K ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4$-Lösung, $^n/_{10}$ K) . . .	14,71	15,25	1,78	15,84	0,24
B 25	50 u.	100 mval	K ($^n/_{10}$ KCl-Lösung) . . .	11,33	13,24		15,92	1,27
	50	100	K ($^n/_{10}$ K_2SO_4-Lösung) . .	11,16	14,40		20,25	2,00
	50	100	K ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4$-Lösung, $^n/_{10}$ K) . . .	11,50?	9,62	6,43	?	?
G 29	50 u.	100 mval	K ($^n/_{10}$ KCl-Lösung) . .	29,80	37,87		52,08	0,72
	50	100	K ($^n/_{10}$ K_2SO_4-Lösung) . .	30,05	40,46?		61,95?	0,86?
	50	100	K ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4$-Lösung, $^n/_{10}$ K) . . .	26,54	31,18	10,36	37,77	0,56
G 53	50 u.	100 mval	K ($^n/_{10}$ KCl-Lösung) . . .	31,23	42,11		64,52	0,83
	50	100	K ($^n/_{10}$ K_2SO_4-Lösung) .	33,47	43,15		60,61	0,67
	50	100	K ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4$-Lösung, $^n/_{10}$ K) . . .	31,93	39,22	15,36	50,76	0,58

Bei höheren Gaben von Kalimagnesia ist die Festlegung des K im Vergleich zu den reinen Kalisalzen teilweise bis zu 40% gesunken,

der Unterschied macht sich allerdings bei kleineren Gaben, wie es auch nach den Verdrängungsgesetzen nicht anders zu erwarten war, weniger bemerkbar.

Daß die aus den Analysen gezogenen Schlußfolgerungen sich durch die Versuchsergebnisse, und zwar im ganzen Lauf der Versuchsjahre 1928—1931 in vollem Umfange bestätigen, zeigen die folgenden Ziffern (Tabelle 33).

Der aus den Analysen gefolgerte große Unterschied der Wirkung der Kalidüngung bei mitteltief wurzelnden Leguminosen und Hackfrüchten ist in voller Schärfe ausgeprägt. Leider fehlen bei diesen Böden Versuche mit reinen Kalisalzen, so daß sich die praktische Auswirkung der Beigaben von Magnesia an dem vorliegenden Material noch nicht klären läßt.

Tabelle 33.

Versuch 1928

Kartoffeln (Bevelanders)

Düngung: 800 kg Superphosphat + 500 kg schwefelsaures Ammoniak

+ 1000 „ Patentkali	Ernte:	28 900 kg
500 „ „		29 100 „
ohne Kali		19 500 „

Versuch 1929

Erbsen

Düngung: 1000 kg Superphosphat + 300 kg Kalksalpeter

+ 800 „ Patentkali	Ernte:	3150 kg Erbsen	2500 kg Stroh
+ 400 „ „		3300 „ „	2300 „ „
ohne Kali		2600 „ „	1800 „ „

Versuch 1930

Kartoffeln (Eigenheimer)

Düngung: 1000 kg Superphosphat + 500 kg Chilesalpeter

+ 1200 „ Patentkali	Ernte:	22 300 kg
+ 600 „ „		17 700 „
ohne Kali		12 100 „

Versuch 1931

C. P. Ammerzoden, Parzelle 4

1000 kg Patentkali	Ernte:	2500 kg Erbsen	2300 kg Stroh
500 „ „		2500 „ „	2300 „ „
ohne Kali		2200 „ „	2100 „ „

Der von uns bei der Untersuchung der holländischen Böden eingeschlagene Weg hat bestätigt, daß es möglich ist, auf Grund der Bodenuntersuchung eine Beurteilung des Düngerbedürfnisses der Böden vorzunehmen, wenn die den Böden anhaftenden Eigenschaften

sowohl in physikalischer als auch in chemischer und kolloidchemischer Richtung Berücksichtigung bei der Beurteilung der Böden finden. Wir sind uns darüber im klaren, daß die von uns verwandten Methoden zum Teil noch verbesserungsbedürftig sind. Andererseits glauben wir aber, auf dem von uns beschrittenen Wege dem Ziele näher gekommen zu sein, den Boden nach landwirtschaftlich-praktischen Gesichtspunkten auf Grund von Laboratoriumsuntersuchungen beurteilen zu können.

Eine erschöpfende Beurteilung der Bodenarten Hollands ist mit diesen Untersuchungen selbstverständlich nicht gegeben, immerhin glauben wir aber, daß unsere Untersuchungen gezeigt haben, daß manche holländischen Böden erst durch die in diesem Falle durch Anlegung wissenschaftlich durchgeführter Düngungsversuche gewonnene Erkenntnis ihres Düngungsbedarfes zu der hohen Ertragsfähigkeit gebracht werden konnten, welche sie heute aufweisen.

Zusammenfassung.

Die Untersuchung der holländischen Böden wurde von uns vorgenommen, um durch einen Vergleich mit daselbst durchgeführten Dauerversuchen die Anwendbarkeit der Lichterfelder Methode zur Bestimmung des Düngerbedarfs der Böden nachzuprüfen. Es ergab sich, daß die Nährstoffbilanzen, die wir auf Grund der Bodenuntersuchungen aufstellen konnten, den Ergebnissen der auf diesen Böden angestellten Versuche entsprachen, bzw. geeignet sind, manche Widersprüche bei den Ergebnissen von Düngungsversuchen aufzuklären.

Bei vielen Versuchen entsprachen die Erntemengen, die wir auf Grund des Kaligehaltes der Böden erwarteten, den tatsächlich erzielten. Es handelte sich in diesen Fällen um Böden, die Kali nur wenig festlegen. Auf solchen Böden ist mit nennenswerten Kalireserven nicht zu rechnen, es sei denn, daß durch Zufuhr von Humus die Adsorptionskraft dieser Böden erhöht wird. Auf derartigen Böden muß die Düngung mit Kali jährlich wiederholt werden, da ein Unterlassen der Düngung sich sofort durch starke Ertragsrückgänge bemerkbar macht. Andererseits tritt aber die Kaliwirkung auf diesen Böden stets mit großer Sicherheit in Erscheinung.

Ein scheinbares Auseinandergehen zwischen den Ergebnissen unserer Untersuchungen und den Ergebnissen mancher Düngungsversuche

konnten wir auf solchen Böden beobachten, die infolge ihrer hohen Adsorptionskraft das zugeführte Düngerkali stark festlegen. Hier ist unsere Methode geeignet, den Düngungsversuch wirksam zu ergänzen und Mißdeutungen zu vermeiden. Wenn auf solchen Böden, auf denen das Kali in den obersten Schichten der Krume festgelegt wird, eine Düngewirkung ausbleibt, so ist dies nicht darauf zurückzuführen, daß diese Böden kalireich sind, denn die Untersuchung zeigt deutlich das Gegenteil. Es liegt dies vielmehr daran, daß das Kali infolge seiner Festlegung nicht zu den Stellen gelangen kann, an denen die Wurzeln es benötigen. Aus diesem Grunde sprechen hier am ehesten flachwurzelnde Gewächse, z. B. Hackfrüchte und Zwiebeln, auf eine Kalidüngung an, und zwar ist das Düngungsbedürfnis, aber auch die Düngewirkung um so größer, je weniger die Wurzeln in die Tiefe gehen. Bei tiefer wurzelnden Pflanzen, wie z. B. Getreide, bleibt der Erfolg einer Kalidüngung zunächst meist aus und tritt erst dann ein, wenn durch stärkere Zufuhr von Kali der Boden mit Kali allmählich angereichert ist bzw. wenn durch die inzwischen erfolgte Bodenbearbeitung das Kali in die Nähe der Hauptwurzelzone gelangt ist und wirken kann.

Der von uns bei der Untersuchung der holländischen Böden eingeschlagene Weg hat bestätigt, daß es möglich ist, auf Grund der Bodenuntersuchungen eine Beurteilung des Düngungsbedürfnisses der Böden vorzunehmen, wenn die dem Boden anhaftenden Eigenschaften sowohl in physikalischer als auch chemischer und kolloidchemischer Richtung Berücksichtigung bei der Beurteilung der Böden finden.

SUMMARY.

The investigations on the soils from Holland were carried out with the object of comparing the analytical data obtained by the Lichterfelde Method with the results of accurate field experiments carried out on the same soils. It was found that the values for the supply of available plant food in the soil and the nutrient requirement of the crop calculated from the results of our analyses showed a close agreement with those deducted from the results of the corresponding field experiments. At the same time the results of analysis afforded explanations of many discrepancies in the results of the field experiments.

In many cases the yields obtained in the field corresponded very closely to those calculated from the analytical values for the potash content of the soil in question. This was true especially in the case of soils, which did not tend to absorb potash. Such soils are unable to store up reserves of potash, unless their absorptive power is increased by additions of humus-forming materials. Potash must therefore be applied every year, as neglect of manuring would lead immediately to decreases in yields. On the other hand a favourable response to potash fertilisers may be expected with certainty on these soils.

Apparent discrepancies between the results of our investigations and those of the corresponding field experiments were observed in the case of soils which as a result of their high absorptive power tended to fix the potash applied in the fertiliser with considerable energy. In such cases our method can be regarded as a useful supplement to field experiments, as it enables us to avoid misinterpreting the results of field trials. It may often happen that on soils, which tend to fix potash in the surface layers, applications of potash fertilisers show no visible effect. It would, however, be incorrect to conclude from this, that these soils are rich in potash, as in many such cases the results of our laboratory investigations have shown the opposite to be the case. The cause of the non-response to potash fertilisers is that the potash is fixed in the surface layers and is thus inaccessible to the plant roots. On this account it is only shallow-rooting crops, such as beets, turnips, onions etc., which could be expected to respond to potash applications on such soils, the response being the more marked, the shallower the

root system of the crop. In the case of deep-rooting crops, e.g. grain crops, potash manuring will usually have no effect at first and a response will only be obtained when the soil has been enriched sufficiently by repeated heavy applications of potash fertilisers or when the potash fertiliser has been worked in to a sufficient depth so as to be accessible to the plant roots.

The results of our analyses of these Dutch soils have confirmed us in our opinion that it is possible by means of laboratory investigations to determine with a high degree of accuracy the manurial requirements of soils, provided that the physical, chemical and colloidal properties of the soil in question are taken into account in interpreting the analytical data.

These investigations cannot, of course, be regarded as an exhaustive survey of the soils of Holland. We believe, however, that our results served to show that it was only possible to bring many Dutch soils up to their present high state of fertility when their manurial requirements had been determined by means of accurate and scientific field experiments.

3. Böden Ägyptens und des Sudans.

Die von uns ausgearbeitete Methode der Bodenuntersuchung wurde hauptsächlich für die Bestimmung des Düngerbedarfs von Böden der Tropen und Subtropen benutzt, da es dort, im Gegensatz zu den Ländern mit weitverzweigten Netzen von landwirtschaftlichen Schulen, Beratungsstellen, Versuchsringen usw. gewöhnlich nicht leicht möglich ist, durch zuverlässige Düngungsversuche den Düngerbedarf eines Bodens direkt zu prüfen.

Zahlreiche Bodenproben wurden uns aus Indien, Niederländisch-Indien, China, Japan, Ostafrika und Südamerika eingeschickt. Besonders systematisch wurden die Böden der ägyptischen Baumwollgebiete untersucht, wo wir Gelegenheit hatten, die Bodenproben durch unseren eigenen Sachverständigen ziehen zu lassen (Abb. 17). Da wir glauben, mit diesen ausgedehnten Untersuchungen einen weitere Kreise interessierenden Beitrag zur bodenkundlichen Erforschung dieses Gebietes geliefert zu haben, geben wir die Ergebnisse unserer Untersuchungen an dieser Stelle wieder.

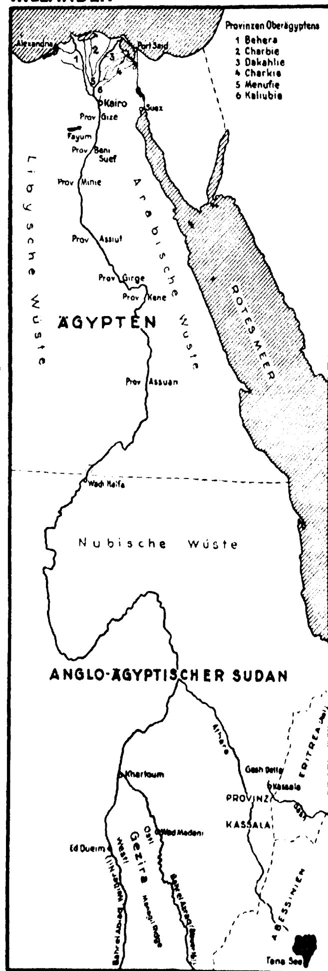


Abb. 17. Nilländer. — Map of the Nile Basin.

a) Die Böden des Gash.

Die Böden des Gashdeltas, auf denen die Baumwolle, wie die praktischen Erfahrungen beweisen, so ziemlich das Optimum ihres Gedeihens findet, sind in gewissem Sinne als Standardböden zu betrachten, deren eingehende Prüfung wertvollen Anhalt zur Beurteilung anderer Baumwollböden gibt.

Von dem gesamten Gashdelta können heute rund 27 bis 30000 ha bewässert werden. Als idealer Irrigationsboden wird nach den gemachten Erfahrungen ein solcher betrachtet, bei welchem unter einer an Ton angereicherten Oberflächenschicht ein leichterer Boden größerer Mächtigkeit liegt, da sich auf solchen Böden der Wasserhaushalt am günstigsten gestaltet.

Die Böden mit höherem Tongehalt, also schweren Charakters, sog. Badobböden, gelten als relativ ungeeignet für Irrigation unter den Verhältnissen des Gash. Ein gleiches gilt für die leichteren Randböden, die sandigen Lebeds, die dem Durra-Anbau durch die Eingeborenen vorbehalten sind. Bezüglich der Bodenbeschreibung sei auf Tabelle 1 verwiesen.

Tabelle 1. Bodenbeschreibung.

Zeichen u. Nr. der Probe	Land	Provinz	Ort	Tiefe des Musters cm	Inländischer Name der Bodenart	Farbe	Verhalten d. Bodens beim Trocknen	Bemerkungen über den Bau des Profils und Grundwasserstand	Bemerkungen über Ertragsklasse, Fruchtfolge, Düngung, ev. über natürliche Vegetation
K 60	Sudan	Kassala	Dibba	0—10	Lebed	gelbl.-braun	leicht bröckelig	Leicht tonige Schicht, oberflächlich zu Staub zerfallen	Rekordboden 1930/31. 2. Kulturjahr. Ernteschätzung bei 1,5:1,5 m. Pflanzweite, 5 dz Lint pro ha, vorzüglich entwickelte Pflanzen, keine Schädlinge.
K 61	,,	,,	,,	10—50		,,	krümelig	Typischer Lebed, bis in unbekannte Tiefe, noch sehr feucht	
K 58	,,	,,	Mekalikanal	0—50	sandig. Lebed	,,	staubig	Bis in große Tiefe unverändert, keine Horizonte, trocken	Natürliche Vegetation: Calotropis, Schoneria, Cadaba. Lebed III.–IV. Qualität, da mangelhafte Wasserhaltung.
K 59	,,	,,	,,	0—40	Lebed	,,	staubig	Bis in große Tiefe unverändert, keine Horizonte, unten feucht	Lebed II. Qualität. Natürl. Vegetation: Rhizinus, Schoneria, Acacia.
K 56	,,	,,	,,	0—10	,,	,,	bröckelig	Leicht tonig, nach unten leichter werdend, trocken, keine Horiz.	II.—III. Qualität, da zu tonig und leicht austrocknend. Ernte 1930: 2,0 dz pro ha.
K 57	,,	,,	,,	10—50	,,	,,	bröckelig		
K 55	,,	,,	Aroma-Station	0—40	,,	,,	bröckelig-krümelig	Leicht tonig, ohne Horizonte, teilweise reißend, trocken	Fast ohne Vegetation. Übergang zu Badob. Gilt als höchstens III. Qualität.
K 62	,,	,,	Girger	0—50	Badob	,,	bröckelig	Bis in große Tiefe unveränderter rissiger Ton, trocken	Fast ohne Vegetation, Gilt als wertlos zur Bewässerung.

Tabelle 2. Physikalische Untersuchung des Bodens.

Zeichen und Nummer der Probe	In % Trockensubstanz Mechanische Zusammensetzung								Bodenart	Strukturfaktor % des Tones I in natürlicher Lagerung koaguliert	Hygrosk. Wasser	Minim. Wasserkapazität	totes Wasser für Baumwolle	Wasserbeweglichkeit	Steighöhe				Bei Ausgang von			
	Grobsand I	Feinsand I	Schluff I	Ton I	Grobsand II	Feinsand II	Schluff II	Ton II							nach 5 Stunden	nach 25 Stunden	Total	1000 · q	feste Teile %	Wasser %	Luft %	Lineare Schrumpf. %
K 60	0,3	1,5	60,2	38,0	12,8	23,7	51,3	12,2	Schluff	68	8,70	41,9	14,7	18,3	138	313	476	25,5	48	50	2	6,0
K 61	0,2	54,0	31,0	14,8	1,2	69,0	27,8	2,0	,,	87	4,33	25,7	7,3	83,4	323	563	667	8,0	50	34	16	1,0
K 58	0,1	72,5	16,6	10,8	0,7	84,3	14,7	0,3	,,	96	3,24	16,8	6,0	143,0	372	452	500	3,5	52	30	18	—
K 59	2,2	54,3	21,5	22,0	6,1	70,2	20,0	3,7	,,	83	4,90	24,7	9,4	61,9	275	490	588	9,5	54	33	13	2,0
K 56	0,5	19,4	36,5	33,6	12,2	36,6	39,6	11,6	,,	65	8,26	43,9	14,8	22,3	161	331	455	20,0	46	52	2	8,0
K 57	0,2	20,8	49,1	29,9	8,9	27,8	53,7	9,6	,,	68	8,39	50,9	14,7	6,2	76	191	312	50,0	43	55	2	9,0
K 55	0,5	8,5	45,0	46,0	4,1	47,0	38,3	10,6	,,	77	10,83	46,8	19,2	7,7	92	202	278	30,0	44	53	3	12,0
K 62	1,2	28,0	21,2	49,6	2,6	55,8	28,6	13,0	,,	74	10,56	44,3	19,2	32,7	190	410	588	18,0	46	51	3	12,5

Die Probenahme erfolgte am 21. 1. 1931, nachdem die Böden Ende August 1930 das letzte Wasser erhalten hatten, also seit 5 Monaten trocken lagen. Die große Verschiedenheit der Böden bzgl. des Wasserhaushaltes tritt deutlich aus den Standortsnotizen hervor. Nur der Rekordboden K 60/61 war zur Zeit der Probenahme selbst in 10 cm Tiefe noch merklich feucht und enthielt in größerer Tiefe sogar noch sehr reichlich verfügbares Wasser.

Tabelle 2 gibt eine Übersicht der Ergebnisse der physikalischen Untersuchung der Böden. Wie die Daten für die mechanische Zusammensetzung zeigen, bestehen zwischen den verschiedenen Böden große Unterschiede, obgleich dem Augenschein nach und auch nach den Resultaten der mechanischen Analyse mit Wasser (Fraktionen II) alle Böden als Schluffböden anzusprechen sind. Ihr Tongehalt (Ton I), bestimmt nach Peptisation mit Lithiumoxalat, schwankt zwischen 10 und 50%. Ein so hoher Gehalt war nach dem makroskopischen Eindruck des Bodens nicht zu vermuten, denn die sehr starke Koagulation der tonigen Bestandteile hat für die makroskopische Unterscheidung alle feineren Unterschiede der Bodenstruktur vollständig verwischt.

Die Differenz „minimale Wasserkapazität" minus „totes Wasser" ergibt für die Gashböden, auf denen nur eine einmalige Wasserzufuhr im Beginn der Vegetationsperiode stattfindet, das tatsächlich verfügbare Wasser der Böden. Bei der Berechnung ist dabei den Tabellenwerten eine mittlere Saugkraft der Baumwolle von 16—17 at zugrunde gelegt.

Alle Böden zeigen eine beträchtliche Menge aufnehmbaren Wassers. Dieses ist infolge ihrer geringeren Wasserkapazität bei den sandigen Typen K 58, 59, 61 geringer als bei den Böden mit größerem Tongehalt.

Zur vollen Auswertung des aufnehmbaren Wassers der Gashböden ist aber noch die Beachtung des Einflusses der mechanischen Zusammensetzung auf die Verdunstungsgröße erforderlich. Die Wasserverluste durch Verdunstung müssen unter den Verhältnissen des Gashdeltas in allen denjenigen Böden die geringsten sein, in welchen eine tonige Schicht, die sich oberflächlich beim Austrocknen in Staub verwandelt, über einer leichteren Bodenschicht liegt.

Die sandigen Böden müssen zur Trockenheit neigen, weil auf ihnen in den höheren Schichten die Verdunstung erheblich ist. Für durchweg tonige Böden muß das gleiche gelten, weil diese Böden nicht nur durch

die normale Oberfläche, sondern bis in beträchtliche Tiefen durch die sich beim Austrocknen bildenden Risse Wasser verdunsten.

Ein Vergleich dieser Schlußfolgerungen mit der in Tabelle 1 gegebenen praktischen, auf Erfahrung begründeten Einschätzung der Böden durch die örtlichen Fachleute zeigt die völlige Übereinstimmung beider Bewertungen.

Die Wasserbilanz für die bepflanzten Böden K 60—61 und K 56—57 stellt sich folgendermaßen, ohne Ansatz der Verdunstung, aber unter Einrechnung der Lagerungsdichte (spez. Gew. des Bodens 2,6):

Tabelle 3. Wasserbilanz der Gashböden in Kubikmeter.

		Schichtdicke		Pro Schicht verfügbar	Im Profil	Berechneter Ernteverbrauch
		effektive	kritische			
Rekordprofil	K 60	10	44,3	354	3408	3000
(5 dz/ha)	K 61	> 100	64,0	3054		
Mäßiges Profil	K 56	10	42,8	349	2567	1200
(2 dz/ha)	K 57	> 100	28,1	2218		

Die gleiche Art der Berechnung ergibt für die noch unkultivierten Böden die folgenden Resultate, die mit dem Wasserbedarf der Mittelernte von 1800 cbm/ha zu vergleichen sind.

Tabelle 4.

Bodennummer	Kritische Schichtdicke	Im Profil verfügbar	Praktische Einschätzung
K 58	48,5	1414	sehr trocken, III—IV
K 59	56,4	2370	II. Qualität
K 55	25,5	617	III.—IV. Qualität sehr trocken
K 62	55,2	3313	ungeeignet

Während die ersten drei Böden sich nach ihrer Wasserbilanz der praktischen Einschätzung durchaus anschließen, gilt das für K 62 nicht ohne weiteres, da es sich um einen tief reißenden, also bis in große Tiefe verdunstenden Boden handelt.

Tabelle 5 gibt eine Übersicht der genäherten prozentischen Zusammensetzung des Sandes und Feinsandes der untersuchten Böden aus den wichtigsten Mineralgruppen.

Tabelle 5. Mineralogische Untersuchung des Bodens.

Zeichen und Nummer der Probe	Zusammensetzung von Kies und Steinen	Zusammensetzung der Feinerde > 0,02 mm %					
		Quarz	Orthoklas	Plagioklas	Kaliglimmer	Magnesiaglimmer	Amphibole und Pyroxene
K 60	nicht vorhanden	25	Spuren	40	5	15	15
K 61	,, ,,	10		20	10	30	30
K 58	,, ,,	40		10	5	25	20
K 59	,, ,,	5		10	20	60	5
K 56	,, ,,	5		10	20	60	5
K 57	,, ,,	5		10	20	60	5
K 55	,, ,,	10		10	10	60	10
K 62	,, ,,	20		30	10	15	25

Weitaus die größte Masse der Mineralien ist charakteristisch für das granit-gneisische, die Eruptivdecken überall unterlagernde und im Mittel- und Unterlauf vom Gash tief erodierte Grundgebirge. Ganz besonders gilt dies für den überall, in einzelnen Proben, z. B. 55, 56, 57, 59, geradezu beherrschenden Gehalt an Glimmern, unter welchen der Biotit bei weitem überwiegt.

Apatit fehlt gänzlich nur in einer einzigen Probe K 58. Die Erfahrung in den Tropen und Subtropen hat gelehrt, daß überall da, wo Apatit im Sande mikroskopisch nachweisbar ist, mit großer Wahrscheinlichkeit die Phosphorsäureversorgung der Kulturpflanzen ausreichend ist, wenn der Apatit nicht gerade nur in Quarz eingeschlossen ist. Auffallend ist das völlige Fehlen von Kalkkonkretionen und das Zurücktreten primärer und sekundärer Eisenmineralien.

Vom praktischen Standpunkt aus betrachtet, ist die Mineralreserve der Gashböden reich.

Die Reaktion der leichten und Übergangsböden in wäßriger Aufschlämmung ist neutral bis leicht alkalisch. Als stark alkalisch ist mit p_H 8,6 nur der schwere Tonboden K 62 zu bezeichnen. Dieser Boden ist auch der einzige, der in KCl-Aufschüttelung wesentlich von p_H 7 nach oben abweicht.

Der Gehalt der Böden an Kohlenstoff ist gering. Wie die mikroskopische Untersuchung zeigt, ist ein nicht unbeträchtlicher Anteil des Kohlenstoffes als Holzkohle von Steppenbränden und unzersetzte, trockene Pflanzensubstanz vorhanden, woraus sich das sehr weite

C:N-Verhältnis und der geringe N-Gehalt der Böden erklärt. Das vorzügliche Gedeihen der Baumwolle und der ganze Habitus der Stauden zeigen aber, daß trotz des geringen Stickstoffgehaltes von Stickstoffmangel keine Rede sein kann.

Die durchschnittliche prozentische Zusammensetzung der löslichen Salze der Gashböden, ausgedrückt in Milliäquivalenten Base, ist wie folgt: Na 24 %, K 3,6 %, Mg/2 0 %, Ca/2 72,4 %.

Die Totalmenge der löslichen Basen, also auch der löslichen Salze (vgl. Tabelle 6 und 7) ist relativ gering, ganz besonders, soweit es das Natrium angeht. Eine Gefahr der Versalzung besteht daher auf den Gashböden nicht. Das mit den Basen hauptsächlich verbundene Anion ist neben CO_3 das Sulfatanion SO_4. Cl ist zwar überall in Spuren anwesend, aber nur in dem salzreichsten Boden K 59 in nennenswerter Menge nachweisbar.

P_2O_5 findet sich in den wasserlöslichen Substanzen nur in verschwindenden Spuren. Der totale P_2O_5-Gehalt der Böden schwankt völlig unregelmäßig in weiten Grenzen.

Der totale Gehalt der Böden an sorptiv gebundenen Basen entspricht in groben Linien dem Tongehalt.

Von der Regel, daß bei ariden Böden 1 g Ton eine Sorptionskapazität zwischen 0,8 und 1 Milliäquivalent Kation besitzt, machen mit höheren

Tabelle 6. Chemische Untersuchung des Bodens (Analysendaten).

Zeichen und Nummer der Probe	p_H		C	N	C:N	P_2O_5 %		Zusammensetzung der löslich. Salze i. Milliäquival.					Zusammensetzung der Komplexsättigung in Milliäquivalent													V	K in Milliäquival. nach NEUBAUER
	in Wasser	in n-KCl	%	%		Total	nach NEUBAUER	Karbonate	Na	K	Mg/2	Ca/2	H	Na	q_{Na}	K	q_K	Mg/2	q_{Mg}	Ca/2	q_{Ca}	S	q_S	T	%	
K 60	7,6	7,0	1,10	0,08	14	0,03	0,0046	0,11	?	0,02	—	0,77	1,14	0,52	7,8	1,05	137,3	4,08	9,26	31,25	0,82	36,90	0,70	38,04	97	1,03
K 61	8,0	7,0	0,95	0,04	24	0,03	0,0039	0,13	?	0,01	—	0,52	0,88	0,29	>200	0,20	>200	2,41	16,96	17,18	0,95	20,08	0,90	20,96	95	0,78
K 58	8,0	7,0	1,09	0,03	36	0,11	0,0022	0,21	0,26	0,04	—	0,90	0,62	0,13	634,9	0,15	>500	2,36	48,48	11,79	0,28	14,43	0,64	15,05	96	0,91
K 59	7,0	7,0	1,15	0,06	19	0,04	0,0137	0,23	0,53	0,20	—	1,70	1,04	0,25	>200	0,93	150	3,55	16,68	14,17	0,42	18,90	0,66	19,94	95	1,77
K 56	7,6	7,0	1,47	0,10	15	0,05	0,0017	0,19	0,29	0,05	—	0,52	1,92	0,04	>1000	1,28	38,4	6,67	2,80	24,27	1,18	32,26	0,84	34,18	94	1,37
K 57	8,0	7,0	1,98	0,10	20	0,09	0,0004	0,19	0,24	0,02	—	0,75	1,69	0,10	>700	0,51	55,6	7,09	6,36	26,08	0,78	33,78	0,74	35,47	95	1,61
K 55	7,6	7,0	1,21	0,04	30	0,03	—	0,20	0,35	0,04	—	0,60	1,37	0,71	386	1,12	60,4	9,17	1,18	30,15	1,29	41,15	0,82	42,52	97	1,45
K 62	8,6	7,6	0,98	0,04	25	0,09	0,008	0,26	0,56	0,01	—	0,40	0,94	0,81	23,8	0,95	112,0	6,67	12,22	35,24	0,71	43,67	0,74	44,01	98	0,71

Tabelle 7. Untersuchung des Bodens (Übersichtsdaten).

Zeichen u. Nummer der Probe	Zusammensetzung der löslichen Salze % Total				Zusammensetzung der sorbiert. Basen % S				Verfügbares K				Verfügbares Mg			Verfügbares Na		
	Na	K	Mg/2	Ca/2	Na	K	Mg/2	Ca/2	aus Lösung	aus Komplex	aus Mineral	Summe	aus Lösung	aus Komplex	Summe	aus Lösung	aus Komplex	Summe
K 60	?	3	—	97	1	3	12	84	1,92	0,09	7,50	9,51	—	1,10	1,10	?	0,25	0,25
K 61	?	2	—	98	1	1	12	86										
K 58	22	3	—	75	1	1	17	81	4,85	0,02	12,24	17,11	—	0,35	0,35	33,95	0,02	33,97
K 59	20	8	—	72	1	5	18	76	29,33	0,12	31,62	61,07	—	0,90	0,90	88,96	0,03	88,99
K 56	34	6	—	60	?	4	20	76	1,86	0,30	28,56	30,72	—	2,80	2,80	18,59	0,04	18,63
K 57	24	2	—	74	?	2	20	78										
K 55	36	4	—	60	2	3	22	73	2,55	0,26	19,38	22,19	—	5,80	5,80	23,20	0,05	23,25
K 62	57	1	—	42	2	3	15	80	1,43	0,15	6,29	7,87	—	1,30	1,30	80,36	0,41	80,77

Kapazitäten nur die stärker sandigen Nummern K 61 und 58 eine merkliche Ausnahme. Diese erklärt sich wahrscheinlich dadurch, daß bei dem hohen Gehalt an verwitterbaren Mineralien ein großer Anteil des Sorptionsvermögens auf angewitterte und dadurch in ihrem Gitter gelockerte Mineraloberflächen der Sandfraktionen entfällt, also tatsächlich nicht wie beim Zurücktreten verwitterbarer Mineralien an die Tonfraktion gebunden ist. Diese erscheint dadurch als besonders sorptionsstark, ohne es zu sein.

Den durchschnittlichen Bau der Komplexe in Prozent von *S* geben die folgenden Ziffern:

Na %	K %	Mg/2 %	Ca/2 %
1,0	2,8	17,0	79,2

Die relativ und absolut sehr geringen Natriummengen der Gashböden sind außerordentlich fest gebunden, obwohl hier, wie ein Blick auf Tabelle 6 zeigt, sehr große Schwankungen bestehen. Wesentlich geringer ist in diesen Böden die ebenfalls von Fall zu Fall stark schwankende Bindungsfestigkeit des prozentisch nur einen geringen Teil der Komplexbelegung ausmachenden Kaliums. An dritter Stelle folgt bezüglich der Bindungsfestigkeit das Magnesium, während sich das Calcium bereits nahezu wie löslich verhält. Das gilt besonders für den sandigen Boden K 58.

Bei der Beurteilung des aus den Mineralien im Boden verfügbaren Nährstoffanteils haben wir nur die Mineralmenge der Rechnung zugrunde zu legen, die sich in der unmittelbaren Wurzelzone der Pflanzen befindet. Als Schicht betrachtet dürfte diese Zone auch im äußersten Falle niemals stärker sein als 2—3 cm, entsprechend einer Menge von rund 300 t Boden pro Hektar.

Der Gehalt an Mineralien ist für die Sandfraktionen genähert zahlenmäßig aus der Mineralanalyse bekannt. Es läßt sich also der Mineraliengehalt von 300 t Boden roh annähernd berechnen.

Aus den Ausnutzungsversuchen von Mineralien durch Roggenkeimpflanzen ist ferner der maximale Prozentsatz bekannt, der vom Kaligehalt der Mineralien bei der Wahrscheinlichkeit 1 des Zusammentreffens von Wurzel und Mineral, d. h. wenn das Medium der Wurzelzone nur aus dem betreffenden Mineral besteht, ausnutzbar ist.

Der im Boden ausnutzbare Kalianteil ist also in erster Annäherung gleich der vom Mineralgehalt in 300 t Bodensubstanz maximal nutzbaren Kalimenge zu setzen, multipliziert mit der Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens von Wurzel und Mineral, die man grob genähert als gleich dem prozentischen Mineralgehalt des Gesamtbodens geteilt durch 100 annehmen kann. Leider existieren entsprechende Untersuchungen über die Mg- und Na-Aufnahmen von Pflanzen und Mineralien nicht.

Die Ergebnisse der Berechnung der verfügbaren Nährstoffmengen finden sich für die Basen in Tabelle 7. Als für eine Maximalernte im Mittel verfügbares H sind 10 Kiloäquivalent pro Hektar entsprechend 20 Milliäquivalent $NH_4 = x$ der Rechnung zugrunde gelegt. Bei der Berechnung der Mineralien sind nur die Glimmer mit je 0,17 Kiloäquivalent K pro ha in Ansatz gebracht.

Bei Einrechnung des mineralischen Kalis zeichnen sich die Rekordböden des Gash für Baumwolle durch einen so hohen Kalireichtum aus, daß sie ohne jede Parallele im Sudan und Ägypten dastehen. Berücksichtigt man nur das lösliche und Komplexkali, so erscheint der Badob bereits als nicht ausreichend für die Erntehöhe des Rekordfeldes versorgt. Den Maximalbedarf könnte aus löslichem und Komplexkali K 59 befriedigen, dessen hoher Gehalt an löslichem Kali bei gleichzeitig relativ hohem totalem Salzgehalt sich wohl durch Verdunstung von zufließendem Wasser erklärt.

Der wichtigste Faktor für die Kaliversorgung der Pflanze ist offenbar, vom Mineralkali in diesem mineralogisch eine Ausnahme bildenden Falle abgesehen, der Gehalt des Bodens an wasserlöslichem Kali. Dies steht in Übereinstimmung mit den Ansichten einer großen Reihe von Forschern, die durch unsere Analysen bestätigt werden; zugleich wird aber auch die Vernachlässigung der Beweglichkeit der Bodenlösung als hauptsächlichste Quelle der bei alleiniger Berücksichtigung des Gehaltes an wasserlöslichem Kali per 100 g Boden entstehenden Irrtümer aufgezeigt. Bei dem Rekordfelde K 60/61 würde zum Beispiel diese Vernachlässigung einen ganz hochgradigen Kalimangel ergeben, da die Bodenlösung nur 0,02 bzw. 0,01 Milliäquivalent K auf 100 g Boden aufweist. Infolge ihrer guten Beweglichkeit beträgt die Kaliversorgung aus der verfügbaren Lösung aber in Wirklichkeit 91 mg K_2O, d. h. mehr, als die Rekordernte überhaupt brauchte. Auf der anderen Seite erschiene das schlechtere Feld bei Einschätzung nach dem Gehalte der Bodenlösung im Verhältnis zum Rekordfeld reich, während es tatsächlich in Lösung und Komplex nicht einmal genügend Kali für eine Vollernte zur Verfügung hatte.

Magnesium ist in wasserlöslicher Form überhaupt nicht vorhanden. Die aus den Komplexen frei werdende Menge reicht bei der Mehrzahl der Böden nicht für Maximalernten aus. Es ist anzunehmen, daß das z. B. beim Rekordfelde sich ergebende Magnesiumdefizit aus den reichlich vorhandenen Mg-Mineralien gedeckt wird. Versuche, ob Mg-Düngung evtl. noch zu Ernteerhöhungen führt, wären sehr interessant, da die Möglichkeit dazu entschieden vorzuliegen scheint.

Gibt die Aufstellung der Basenbilanz ein recht klares Bild, so zeigen die P_2O_5-Ziffern keinerlei Regelmäßigkeit, so daß eine Beurteilung des Phosphorsäurebedarfes auf Grund dieser Zahlen nicht möglich ist.

b) Die Böden des Weißen Nil in der westlichen Gezira und im Irrigationsgebiet von Ed Dueim.

Die Bodenbeschreibung der aus der Gezira entnommenen Proben ist in Tabelle 8 zusammengestellt.

Tabelle 9 gibt eine Übersicht über die mineralogische Zusammensetzung der untersuchten Profile des Weißen Nil-Gebietes.

Tabelle 8. Bodenbeschreibung.

Zeichen und Nummer der Probe	Land	Provinz	Ort	Tiefe des Musters cm	Farbe	Verhalten d. Bodens beim Trocknen	Bemerkungen über den Bau des Profils und Grundwasserstand	Bemerkungen über Ertragsklasse, Fruchtfolge, Dungung, evtl. über natürliche Vegetation
G 48	Sudan	White Nile	Ed Dueim	0,30	grau-braun	bröckelig reißend	Frischer Nilschlamm, jährlich abgesetzt von Nilinsel von Ed Dueim, mit Oxydationsstreifen durchsetzt	Natürliche Vegetation: Karizeen und Hartgras. Sehr fruchtbar bei einmaliger Überstauung } Bahr el Abiad
G 44	„	„	Hosh A Westufer Ed Dueim		blau-grau	krumelig	Unter der lockeren, wenig gerissenen Krumenschicht liegt in sehr fester Lagerung, bei 30 bis 40 cm Tiefe beginnend, ein von vielen Sandadern durchsetzter grauer Ton mit einzelnen Effloreszenzen, der in von braunen Tonlagen durchsetzten Sand übergeht. Er enthält viele frische Wurzelreste als Oxydationszentren, viel Effloreszenzen und ist sehr fest gelagert. Die tiefste Schicht ist als ein von vereinzelten Tonadern durchsetzter Sandstein anzusprechen	Rekordboden des Versuchsfeldes Ed Dueim. Seit 4 Jahren ohne Dungung 10 dz Baumwolle pro ha bei Bewässerung von je 1000 cbm ha. Hervorragender Stand, erstklassiger Fruchtansatz
G 45	„	„	„		grau	„		
G 46	„	„	„		braun-grau	„		
G 47	„	„	„		isabell-farben	„		
G 41	„	„	Hosh K Westufer Ed Dueim	0–30	blau-grau	hart bröckelig	Auf lockere Krumenschicht mit vielen Kalkkonkretionen und Effloreszenzen folgt von Sandbändern und größeren Kalkbrocken durchsetzter schwarzer Ton. Dieser setzt bei 90 cm scharf gegen Ton mit Muschelresten und Kalkkonkretionen ab, der steinfest gelagert ist. Von 30 cm an außerordentlich trocken	Schlechteste Stelle des Versuchsfeldes Ed Dueim. Bewässerung wie oben, Ertrag 3,5 dz/ha Baumwolle, kurz und kräftig, auffallend wenig Neigung zu Krankheiten, guter Fruchtansatz
G 42	„	„	„	40–90	schwarz	schollig		
G 43	„	„	„	90–120	„	„		
G 49	„	„	S von Kawa	0–30	grau	„	Keine Horizonte feststellbar. Senkenboden der obersten Nilterrasse, Fuß Mavagil Ridge	Völlig vegetationslos, oft überstaut
G 40	„	„	Ma' atuq	0–30	„	sehr krümelig	Macht den Eindruck eines aeolischen Bodens. Ohne Horizonte von Lößkindl durchsetzt. Oberflächlich viel Steppenkalk. Grundwasser in 5 m Tiefe	Gilt, wenn bewässert, als erstklassiger Durraboden

Tabelle 9. Mineralogische Untersuchung des Bodens.

Zeichen und Nummer der Probe	Zusammensetzung von Kies und Steinen	Zusammensetzung der Feinerde > 0,02 mm: Quarz	Orthoklas usw.	Leuzit	Plagioklas	Kaliglimmer	Magnesia-glimmer	Amphibole und Pyroxene	Apatit	Kalzit	Gips	Kalkdetritus	Muschel-schalen usw.	Kalk-konkretionen	Eisen-konkretionen	Magnetit	Sek Fe Mineral	Diatomeen	Titanit
G 48	Nicht vorhanden	30	?	—	20	?	5	5	—	—	—	?	—	—	—	?	35	5	?
G 44	„ „	87	?	—	10	—	?	1	—	—	—	—	?	2	—	?	?	—	?
G 45	„ „	87	?	—	8	—	?	2	—	—	—	—	—	3	—	?	?	—	?
G 46	Kalkbrocken	85	1	—	10	—	?	2	—	—	—	?	—	?	—	1	1	—	?
G 47	„	85	1	—	10	—	?	2	—	—	—	?	—	?	—	1	1	—	?
G 41	Nicht vorhanden	91	?	—	5	—	?	?	—	—	—	1	1	1	—	?	1	—	?
G 42	Kalkbrocken und Muschelschalen	88	?	—	5	—	?	?	—	—	—	1	3	2	—	?	1	—	?
G 43	„ „ „	80	?	—	5	—	?	?	—	—	—	1	10	3	—	?	1	—	?
G 49	Kalkkonkretionen	94	—	—	1	—	?	?	—	—	—	—	—	5	—	?	?	—	—
G 40	Lößkindl, Quarz, Kalkkonkretionen	73	—	—	3	?	?	15	?	—	—	?	—	?	—	2	7	—	?

Tabelle 10. Physikalische Untersuchung des Bodens.

Zeichen und Nummer der Probe	In % Trockensubstanz Mechanische Zusammensetzung: Grobsand I	Feinsand I	Schluff I	Ton I	Grobsand II	Feinsand II	Schluff II	Ton II	Strukturfaktor	Hygroskopisches Wasser	Minimale Wasserkapazität	Totes Wasser % für Mais, Baumwolle, Weizen	Totes Wasser % für Bersim Bohnen	Kritische Schicht cm	Steighöhe nach 5 Stunden	Steighöhe nach 25 Stunden	Steighöhe Total	1000 × q	Bei Ausgang von % feste Teile	Wasser %	Luft %	Lineare % Schrumpfung
G 48	0,4	18,8	29,0	51,8	4,6	41,9	36,6	17,6	65	9,8	51,7	15,4	18,0	17,1	71	141	188	44	41	52	7	14,0
G 44	17,1	28,1	7,6	47,2	19,4	51,5	28,3	0,8	98	8,9	37,6	19,7	24,1	52,5	292	452	526	6,0	51	47	2	10,0
G 45	12,8	23,7	8,5	55,0	12,3	24,8	52,0	0,9	98	10,4	41,7	37,7	49,2	36,8	110	263	400	33	43	48	9	12,0
G 46	14,0	42,4	7,0	36,6	15,3	47,4	35,5	1,8	95	7,8	38,8	24,2	31,0	9,3	31	72	109	115	50	47	3	9,0
G 47	14,5	51,9	4,4	29,2	15,3	56,0	15,6	13,1	55	5,9	38,2	14,4	18,0	20,8	87	171	227	35,5	51	43	6	8,0
G 41	12,1	24,0	12,2	51,7	12,4	27,0	60,6	—	100	11,2	51,1	39,8	51,8	34,5	64	191	384	65	42	53	5	15,0
G 42	11,0	25,0	10,2	53,8	11,0	27,0	8,4	53,6	< 1	13,7	71,5	34,8	43,7	2,2	10	22	31	340	35	58	7	17,0
G 43	14,6	25,8	11,5	48,1	15,0	29,7	13,1	42,2	12	11,3	62,6	27,2	33,2	2,6	15	25	30	167	36	53	11	16,0
G 49	1,1	14,2	3,5	81,2	2,0	50,0	21,2	20,8	66	16,5	63,3	26,1	30,1	8,6	35	22	[illegible]	62	35	58	7	18,5
G 40	[illegible]	[illegible]	5,1	11,8	50,8	12,6	11,2	5,4	67	[illegible]	14,5	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

In den Profilen tritt der Quarzgehalt neben Kalkkonkretionen in den oberen Lagen und Muschelresten in den tieferen Lagen teilweise stark in den Vordergrund. Im Prinzip zeigen alle Böden die typische Zusammensetzung der Nilschlämme.

Ein Vergleich der von uns untersuchten Profile G 44—47 (guter Boden) und G 41—43 (schlechter Boden) (Tabelle 10) zeigt, daß die Annahme, der Grund der schlechteren Ernten sei der Salzgehalt, nur bedingt zutrifft und daß eine zu starke Dränage überhaupt nicht als Ursache dafür in Frage kommt. Bei den vorliegenden Profilen könnte nicht das mit den schlechtesten, sondern das mit den besten Erträgen als zu stark dräniert bezeichnet werden, da dieses bereits in mittleren Tiefen aus ausgesprochenem Sand bis Feinsand, wenn auch noch mit nennenswerter Tonbeimischung, besteht.

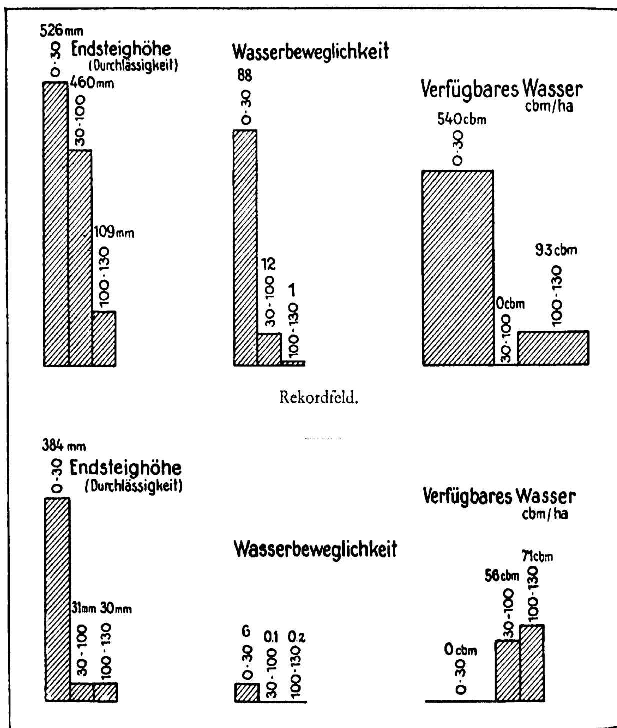
Trotzdem besteht die Ansicht, daß auf dem Gelände von Ed Dueim die Wasserversorgung der Baumwolle der bedingende Faktor des Gedeihens ist, zu Recht, wie Diagramm Abb. 18 zeigt, das die wichtigsten physikalischen Daten der Tabelle 10 und 12 wiedergibt[1]).

Während das Rekordfeld G 44—47 in der für die Wurzelentwicklung wichtigsten Zone eine große kapillare Steighöhe und eine sehr bemerkenswerte Wasserbeweglichkeit aufweist, die das verfügbare Wasser nach jeder Irrigation gut zur Geltung kommen läßt, ist auf dem schlechten Feld G 41—43 schon in der Oberflächenschicht des Bodens die Steighöhe wesentlich geringer und die Wasserbeweglichkeit sogar sehr niedrig.

Auf dem guten Felde stehen der Baumwolle aus der in Abständen von 10—14 Tagen gegebenen Bewässerung von rund 750 cbm Wasser pro Hektar jeweils, auch nachdem der Wasserüberschuß eingesickert bzw. verdunstet ist, noch rund 700 cbm allein aus der Oberflächenschicht zur Verfügung, so daß auch bei noch so starkem Ansatz der Verdunstungsverluste dort in der Zwischenzeit zwischen zwei Irrigationen kein Wassermangel erwartet werden kann. Auf dem schlechten Feld setzt dagegen schon bald nach der Irrigation Wassermangel ein. Nur aus dem Untergrund, soweit er bis zur minimalen Wasserkapazität

[1]) Die verfügbaren Wassermengen im Diagramm sind auf die einfache effektive bzw. kritische Schichtdicke berechnet, daher im letzteren Falle nur $^1/_2$ der Werte der Wasserbilanz in Tabelle 12. Sie beziehen sich auf Leguminosen.

gesättigt ist, kann sich die Baumwolle hier noch längere Zeit mit Wasser versorgen.



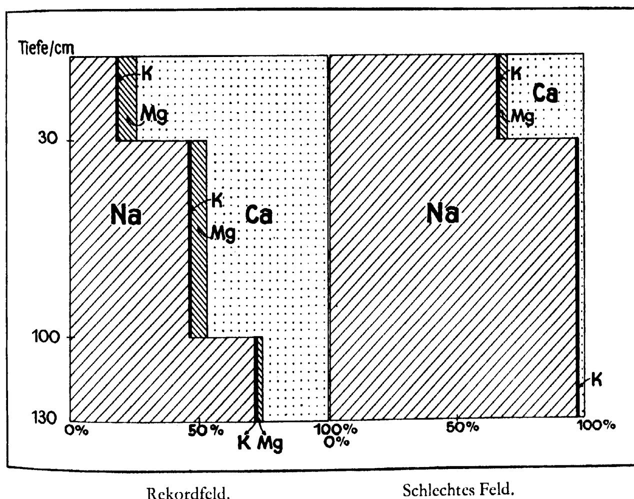
Schlechtes Feld.

Abb. 18. Physikalische Eigenschaften der Profile von Ed Ducim.
Physical properties of soil profiles from Ed Ducim.
above: good field, below: bad field.

Die Gründe für die Verschiedenheit des Wasserhaushaltes liegen, wie die Diagramme Abb. 19 und 20 als Zusammenfassung der Tabelle 11 und 12 zeigen, im Bau der Bodenlösungen und der sorptiven Komplexe.

Während die wasserlöslichen Basen des Rekordprofiles (Abb. 19)

neben nach unten schnell zunehmenden Mengen Na noch bis 1,30 m Tiefe bei der Größe der Wasserbeweglichkeit nennenswerte Beträge an K, Mg und vor allem Ca aufweisen, enthält jenseits 30 cm Tiefe die Bodenlösung des schlechten Feldes fast nur noch Na. Im Verhältnis zur Wasserbeweglichkeit ist der K-Gehalt sehr gering; Mg fehlt gänzlich, und Ca tritt ins Unwesentliche zurück. Nur die Krumenschicht



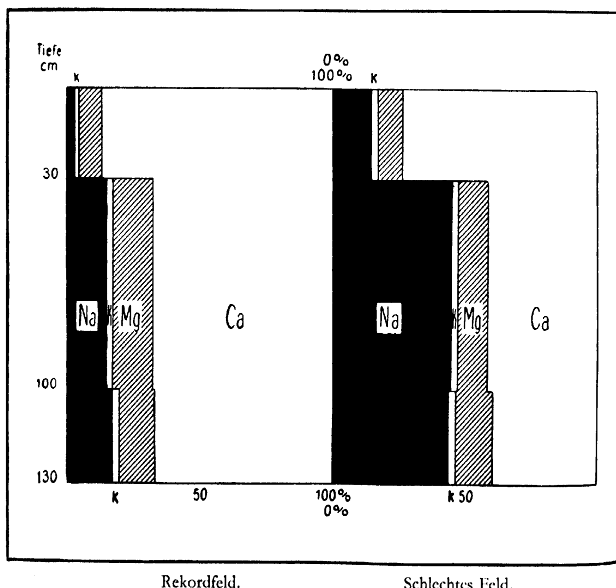
Rekordfeld. Schlechtes Feld.

Abb. 19. Lösliche Basen der Profile von Ed Dueim in % der löslichen Basenmenge. Different soluble bases in soil profiles from Ed Dueim expressed as percentages of soluble bases.
left: good field, right: bad field.

bis zu 30 cm zeigt noch eine Zusammensetzung der Bodenlösung, die etwa der der schlechtesten Bodenlösung des Rekordprofiles entspricht.

Dasselbe Bild, wenn auch in abgeschwächter Form, wiederholt sich bei der Betrachtung der prozentischen Zusammensetzung der Komplexe (Abb. 20). Im Rekordprofil herrscht das Ca vor, was in hohen Strukturfaktoren von 95—98 bis zu 130 cm Tiefe zum Ausdruck kommt, entsprechend einer starken Koagulation der Tonsubstanz, die den Boden in natürlicher Lagerung trotz seines Tongehaltes als Schluff charakteri-

siert. Nur die tiefste Profillage jenseits 130 cm zeigt einen noch erheblichen Bruchteil nichtkoagulierten Tons mit einem Strukturfaktor des Bodens von 55. Im schlechten Profil dagegen ist nur in den ersten 30—40 cm Tiefe der Ton, und zwar fast vollständig, koaguliert. Von dieser Tiefe an kommen, bei einer Sättigung der Komplexe mit Na



Rekordfeld. Schlechtes Feld.

Abb. 20. Komplexbau der Profile von Ed Dueim in % S.
Composition of the colloidal complex in the soil profiles from Ed Dueim (in % S).

von rund 45 %, Sekundärteilchen kaum noch vor. Der Boden ist auch im natürlichen Zustand fast völlig dispergiert und damit praktisch undurchlässig.

Die Abhängigkeit der Steighöhe, d. h. also der Wasserbeweglichkeit und Durchlässigkeit der Böden vom Gehalt an Na-Ton geht aus den Daten der Tabelle 10 hervor. Sie findet sich bei der Untersuchung sämtlicher Böden des Sudans und Ägyptens wieder.

Der Wasserhaushalt des Bodens ist nun aber maßgebend auch für die Menge der wasserlöslichen Nährstoffe, die den Pflanzenwurzeln jeweils im Boden zur Verfügung stehen.

Nur auf solchen Böden, die bei genügenden Mengen verfügbaren Wassers eine ausreichende kritische Schichtdicke und Beweglichkeit des Bodenwassers besitzen, kann eine ausreichende Nährstoffversorgung der Pflanzen erfolgen. Mit anderen Worten heißt das aber, wie bereits oben ausgesprochen ist: Salzgehalt, Enge des Wurzelraumes und Nährstoffmangel der Pflanzen sind ursächlich miteinander verknüpft.

Daß dem so ist, wird durch die Daten der beiden Ed Dueim-Profile, Tabelle 11 und 12, illustriert.

Betrachtet man in Tabelle 11 die absoluten Ziffern für die Zusammensetzung der Bodenprofile, soweit es die Nährstoffe angeht — bezüglich des Natriums sind alle wichtigen Punkte bereits oben erörtert —, so findet man hinsichtlich des Kalis, daß das Rekordprofil wesentlich ärmer ist als das schlechte Profil. Bezüglich des Magnesiums und Calciums bestehen in den absoluten Gehalten zwischen den beiden Profilen keine großen Unterschiede.

Tabelle 11. Chemische Untersuchung des Bodens (Analysendaten).

Zeichen und Nummer der Probe	p_H		C	N	C/N	P_2O_5		Karbonate	Zusammensetzung der löslichen Salze in Milliäquivalent				Zusammensetzung der Komplexsättigung in Milliäquivalent												V	K in Milliäquivalent nach NEUBAUER
	in Wasser	in n-KCl	%	%		Total	nach NEUBAUER mg		Na	K	Mg/2	Ca/2	H	Na	q_{Na}	K	q_K	Mg/2	q_{Mg}	Ca/2	q_{Ca}	S	q_S	T	%	
G 48	7,0	7,0	1,72	0,10	17	0,110	0,21	—	0,47	0,06	—	0,18	3,40	1,03	206	1,48	59,0	15,29	3,86	18,70	0,94	36,50	1,02	39,90	91	0,93
G 44	8,4	7,6	0,92	0,03	31	0,031	8,04	0,10	3,28	0,07	1,12	13,53	0,70	1,05	80,6	0,55	112,0	3,11	20,52	33,17	0,86	37,88	0,86	38,58	98	0,68
G 45	8,4	7,6	0,92	0,02	46	0,039	5,46	0,08	13,90	0,10	1,77	13,96	0,70	5,32	27,5	1,10	203,6	5,55	18,06	25,91	0,16	37,88	0,74	38,58	98	0,50
G 46	8,6	7,6	0,72	0,01	72	0,032	3,94	0,15	8,60	0,07	0,22	3,12	0,66	4,78	21,1	0,71	161,6	3,61	4,94	18,99	0,62	28,09	0,82	28,75	97	0,30
G 47	9,6	7,0	0,67	0,01	67	0,016	6,31	0,33	3,97	0,03	—	0,24	0,81	4,24	0,60	0,41	44,2	2,72	5,34	13,08	1,80	20,45	0,86	21,26	96	0,36
G 41	8,6	7,6	0,93	0,02	46	0,018	3,49	0,15	15,54	0,11	0,77	7,13	0,45	6,06	9,2	1,23	176,8	3,86	7,86	31,58	0,86	42,73	0,76	43,18	99	0,56
G 42	8,6	7,6	0,84	0,02	42	0,014	4,39	0,20	10,15	0,03	—	0,26	0,53	18,48	2,8	1,19	88,4	4,54	10,78	17,28	0,24	41,49	0,68	42,02	99	0,50
G 43	9,6	7,6	0,66	0,02	33	0,063	5,96	0,25	7,32	0,03	—	0,22	0,52	15,02	1,6	1,01	53,0	4,59	11,20	14,10	1,38	34,72	0,74	35,24	99	0,64
G 49	8,0	7,6	1,03	0,04	26	0,017	6,49	0,15	1,01	<0,01	—	0,20	1,82	3,28	2,8	2,47	132,1	9,65	4,34	50,39	1,08	65,79	0,84	67,61	97	0,82
G 40	8,8	7,8	0,73	0,04	18	0,081	2,86	0,26	0,73	0,05	—	0,27	0,54	0,41	?	1,06	18,9	1,73	20,18	11,97	1,28	15,17	1,10	15,71	97	0,86

Alles in allem wäre man versucht zu sagen, daß nach den absoluten Ziffern das schlechte Profil als das bessere in chemischer Hinsicht zu bezeichnen wäre. Daß aber die Verhältnisse tatsächlich ganz anders liegen, zeigt sich aus den Übersichtsdaten der Tabelle 12.

Für Natrium und Magnesium schien im vorliegenden Falle, wie ein Blick auf Tabelle 11 zeigt, daß außer aus der Lösung auch aus den Komplexen sehr wesentliche Mengen dieser beiden Stoffe ohne weiteres zur Verfügung stehen, eine Berechnung überflüssig, und erst recht natürlich für Kalk.

Bezüglich des Kalis zeigt sich, daß das aus dem Komplex stammende Kali bei der großen Festigkeit seiner Bindung nur zu einem sehr geringen Teile verfügbar ist. Die Lieferung aus der Mineralreserve ist, wie nach dem mineralogischen Befunde nicht verwundern kann, in diesem Falle praktisch gleich Null, und zwar sowohl auf dem Rekordfeld wie auf dem schlechten Feld. Dafür enthält, auch wenn man nur die Oberflächenschicht bis 30 cm oder höchstens 40 cm in Anrechnung bringt, das Rekordfeld immer noch mehr wasserlösliches Kali, als im Augenblick für den Mittelbedarf einer Baumwollernte benötigt wird, und besitzt fraglos die Fähigkeit, diesen verfügbaren Kaligehalt, der wohl mit als eine Ursache der ganz hervorragenden Ernten zu betrachten ist, aus dem Untergrund auszugleichen.

Der an sich hohe Gehalt an löslichem Kali in den Böden von Ed Dueim geht auf die Verdunstung von lokal gestautem Wasser bei der Bodenbildung, also auf eine künstliche sekundäre Anreicherung zurück. Ist dieses lösliche Kali durch große Ernten, wie auf dem Rekordfeld, wo 4 Jahre hintereinander Lint-Erträge von 10 dz/ha ohne ergänzende Düngung erzielt wurden, stark in Anspruch genommen, so muß es sich beim Fehlen von Reserven erschöpfen, was sich auf dem schlechter tragenden Feld naturgemäß nach so kurzer Zeit bei geringerer Erntehöhe noch nicht bemerkbar machen kann, genau wie das Analysenergebnis es zeigt.

Auf jeden Fall lebt sowohl das Rekordfeld wie auch das schlechte Feld wesentlich von seinem flüssigen Kalikapital, und der Boden muß sich, je höher die erzielte Ernte ist, desto schneller an Kali erschöpfen, so daß ohne Kalidüngung im Verlauf von wenigen Jahren mit einem Ernteabfall zu rechnen ist.

An der Tatsache würde auch die Möglichkeit einer Verbesserung der Wasserhaushaltung durch Gips, der die Komplexe koaguliert und damit die Bodenlösung in höherem Maße für die Pflanzenwurzeln verfügbar macht, nur insofern etwas ändern, als sich dadurch für kurze Zeit die Notwendigkeit des Ersatzes hinausschieben ließe. Inwiefern eine solche Melioration dann aber nicht gleich zweckmäßigerweise durch Verwendung von Kalisalzen, speziell schw. Kali, evtl. durch länger fortgesetzte Düngung vorzunehmen wäre, ist eine andere Frage, auf die bei der Besprechung der Ergebnisse der Untersuchung der einschlägigen Versuchsfelder von Wad Medani zurückzukommen sein wird.

Die festgestellten Gehalte an Stickstoff sind gering und die Wirkung einer N-Düngung ist wohl nahezu als sicher zu betrachten.

Die lokale Umlagerung der Böden dieses Gebietes durch Schichtfluten oder Flächenspülung hat die ausgesprochene Tendenz zur Verschärfung der Gegensätze der mechanischen Bodenzusammensetzung. Als extremes Endergebnis treten einmal Sandhäute und völlig ausgewaschene Sand- bzw. Feinsandböden auf allen „Hängen" auf und auf der anderen Seite extrem schwere Tone in „Senken" bzw. auf den relativ tieferliegenden Flächen.

Für den letzteren Fall bietet G 49 ein typisches Beispiel.

Da die Flächenspülung nur die allerfeinsten Teilchen des Bodens zu bewegen in der Lage ist, entspricht der enorme Tongehalt des Bodens der besprochenen Fläche von 81 %, gegenüber dem besonders die Grobsandfraktion völlig in den Hintergrund tritt, durchaus den Erwartungen.

Daß dieser schwere Ton nicht eine noch schlechtere Wasserhaushaltung besitzt, als sie sich nach den Daten der Tabelle 10 darstellt, ist das Ergebnis seiner relativ hohen Sättigung mit Kalk.

Dieser Boden gilt bei den Eingeborenen ohne Berieselung für unproduktiv, obwohl große Wassermengen in ihm bei Regen und bei Überflutungen versickern. Das ist in jeder Hinsicht nach den Daten der Tabellen 11 und 12 berechtigt. Denn auch nur bei Sättigung bis zur minimalen Wasserkapazität ist er ein Brei, der nicht zu bearbeiten ist. Im knetbaren Zustande (siehe Tabelle 10), wo also allenfalls eine Bearbeitung denkbar ist, enthält er nur noch ganz geringe Mengen verfügbaren Wassers — kaum 10 %. Auch bei Bewässerung wird auf diesem Boden nur eine sehr mäßige Ernte erzielbar sein und diese auch

nur bei intensiver Düngung. Dem Charakter des Bodens als fast rein kolloidalem, in Regenwasser transportiertem Material entsprechend, ist von einem Vorrat von wasserlöslichen Pflanzennährstoffen kaum mehr die Rede, ganz abgesehen davon, daß diese wegen der geringen Wasserbeweglichkeit kaum zur Geltung kommen können. Weiter fließen die Sorptionskomplexe als Reservoir für Kalium nur äußerst spärlich, und wertvolle Mineralien, die das Manko wettmachen könnten, sind nicht vorhanden. Auch der totale Phosphorsäuregehalt ist sehr gering und bei relativ großer Aufnehmbarkeit leicht zu erschöpfen.

Tabelle 12. Untersuchung des Bodens (Übersichtsdaten).

Zeichen und Nummer der Probe	Zusammensetzung der löslichen Salze % Total				Zusammensetzung der sorbierten Basen % S				cbm verfügbares Wasser[1])		Verfügbares K aus				K Bedarf einer [illegible]
	Na	K	Mg/2	Ca/2	Na	K	Mg/2	Ca/2	Leguminosen	Baumwolle Mais	Lösung[1])	Komplex	Mineral	Total	
G 48	66,0	8,4	—	25,6	2,8	4,1	41,9	51,2	1234	1296	2,20	0,27	0,03	2,50	[illegible]
G 68	80,0	2,7	—	17,3	5,1	3,4	22,2	69,3	704	770	0,74	0,30	0,03	1,07	[illegible]
G 44	18,2	0,4	6,2	75,2	2,8	1,4	8,2	87,6	526	698	2,73	0,13	?}	11,19	[illegible]
G 45	46,7	0,3	6,0	47,0	14,1	2,9	14,5	68,5	—	330	8,24	0,09	?}		
G 46	71,0	0,6	1,8	26,6	17,0	2,5	12,9	67,6	186	354	1,70	0,14	?	1,84	[illegible]
G 47	93,6	0,7	—	5,7	20,7	2,0	13,3	64,0	1080	1286	1,62	0,10	?	1,72	[illegible]
G 41	66,0	0,5	3,3	30,2	14,2	2,9	9,0	73,9		370	3,52	0,14	?}	3,97	[illegible]
G 42	97,2	0,3	—	2,5	44,5	2,9	10,9	41,7	112	146	0,12	0,19	?}		
G 43	96,7	0,4	—	2,9	43,3	2,9	13,2	40,6	142	164	0,14	0,28	?	0,42	[illegible]
G 49	82,8	0,8	—	16,4	5,0	3,7	14,7	76,6	525	588	~0,16	0,14		0,34	[illegible]
G 40	69,5	4,8	—	25,7	2,7	7,0	11,4	78,9	1020	1226	8,06	0,52	?	8,58	[illegible]

Der Boden entspricht dem im Irrigationsgelände als unproduktiv bekannten Typ der schweren Senkenböden, die heute von der Kultur ausgeschlossen werden.

Wesentlich anders und sehr viel günstiger liegen die Verhältnisse bei G 40 Maatuq, dem Rest eines alten Uferwalles des Weißen Nil. Die verhältnismäßige Leichtheit des Bodens (siehe Tabelle 10, G 40, und die oben angegebenen Daten für das Profil Maatuq) sichert das schnelle Eindringen des Wassers, während gleichzeitig der immerhin noch nennenswerte Tongehalt in tieferen Lagen — wahrscheinlich auch

[1]) Diese Werte sind auf die effektiven Schichtdicken berechnet.

nach dem Salzgehalt zu schließen, die Anwesenheit beträchtlicher Mengen von Natriumton — ein zu schnelles Absickern aus dem Bereich der Wurzelzone der Gewächse hintanhält. Eine verhältnismäßig große Beweglichkeit des Bodenwassers und die damit sehr beachtenswerte Dicke der nutzbaren Schicht ergibt nicht nur einen für eine Durraernte mittlerer Höhe ausreichenden effektiven Wasservorrat von 1020 cbm pro Hektar, sondern auch eine dafür mehr als ausreichende Zufuhr löslichen Kalis zu den Wurzeln, während der Bedarf an zweiwertigen Basen mit Leichtigkeit durch die Pflanzen aus den Komplexen gedeckt werden kann (Tabelle 11 und 12).

Die Phosphorsäureversorgung scheint — soweit die Analysendaten in dieser Richtung überhaupt ein Urteil ermöglichen — mindestens ausreichend zu sein.

c) *Die Böden des Managil-ridge.*

Der Managil-ridge ist eine flache Bodenwelle, die als letzter Ausläufer der Randberge des abessinischen Hochplateaus die östliche von der westlichen Gezira und damit das Einzugs- und Einflußgebiet des Bahr el Abiad von dem des Bahr el Azraq scheidet.

Die mineralogische Zusammensetzung von G 54 ist typisch für diese Böden. Derartige rote Böden werden wesentlich als Weide genutzt und gelten ohne reichliches Wasser als unsicher für den Ackerbau. Die Berechtigung dieser Einschätzung zeigen die physikalischen und chemischen Tabellen 15, 16 und 17.

In Tabelle 15 fällt besonders der ungemein hohe Gehalt von 69 Vol.-% fester Teilchen auf, der einer sehr dichten Lagerung der Bodensubstanz entspricht. Tatsächlich war der Boden kurz unter der Oberfläche von so zementartiger Härte, daß die Probenahme auf erhebliche Schwierigkeiten stieß. Trotz sehr guter, allerdings auch bereits die Gefahr großer Verdunstungsverluste einschließender Wasserbeweglichkeit, ist bei sehr geringer minimaler Wasserkapazität die effektiv verfügbare Wassermenge des Bodens mit nur 814—860 cbm pro Hektar mittelmäßig. Auch chemisch ist der Boden verhältnismäßig arm. Der Anschluß der Untersuchungsdaten an die praktische Beurteilung ist also auch hier in vollem Umfange vorhanden.

Tabelle 13. Bodenbeschreibung.

Zeichen und Nummer der Probe	Land	Provinz	Ort	Tiefe des Musters cm	Inländischer Name der Bodenart	Farbe	Verhalten des Bodens beim Trocknen	Bemerkungen über den Bau des Profils und Grundwasserstand	Bemerkungen über Ertragsklasse, Fruchtfolge, Düngung, evtl. über natürliche Vegetation
G 50	Sudan	White Nile	Km. 356	0—30	?	braun	krümelig bis bröckelig	Unter und in den ersten Zentimetern lockerer Oberfläche, die mit Quarzgeröllen und limonitischen Konkretionen bedeckt ist, außerordentlich fest gelagert, ebenfalls mit Quarz und Konkretionen durchsetzt; von 30 cm an feucht. Wüstenrinden	Viel Niedergras in Senken. Nichtkultiviert, aber als II. Qualität betrachtet
G 51	,,	,,	desgl.	30—60	?	desgl.	desgl.		
G 52	,,	Blue Nile	etwa Km. 340	0—30	?	schwarz grau	bröckelig	Tief gerissener Tonboden. Profilbau unbekannt	Niedergrassteppe, gilt als fragwürdiges Kulturland
G 53	,,	,,	etwa Km. 335	0—30	?	desgl.	bröckelig	Tief gerissener Tonboden. In 10 cm Tiefe Lage von Kalkkonkretionen	Gilt als sehr gutes Durra-Land
G 54	,,	,,	14 Km. W. vor Sennar	0—30	?	rot	total zerfallend	Sehr fest gelagert ohne jede Andeutung von Horizonten. Oberflächlich Quarz u. Eisenkonkretionen	Niedergras-Schirmakaziensteppe, gilt als minderwertiger Kulturboden

Nach den klimatischen Bedingungen — wechselfeuchtes Tropenklima mit langer Trockenzeit — sind im Gebiete nur lateritisch oder allitisch verwitternde Roterden zu erwarten, charakterisiert durch einen hohen Gehalt an freien Sesquioxyden, welche die Möglichkeit der Basen- und Wasserbindung nur in zurücktretendem Maße besitzen.

Allerdings ist der Mineralbestand der Böden weitgehend, wie Tabelle 14 zeigt (G 50 bis G 53), durch örtliche Beiträge der Granite und Gneise beeinflußt. Die Bodenbildungen sind durchweg alt.

Tabelle 14. Mineralogische Untersuchung des Bodens.

Zeichen und Nummer der Probe	Zusammensetzung der Feinerde in %												
	Quarz	Plagioklas	Kaliglimmer	Magnesiaglimmer	Amphibole und Pyroxene	Apatit	Kalzit	Kalkdetritus	Muschelschalen	Kalkkonkretionen	Eisenkonkretionen	Magnetit	Sek. Fe-Min.
G 50	64	5			5	?	5	2		10	3	1	5
G 51	64	5			5	?	5	2		10	3	1	5
G 52	80	3			1	?	1	2	2	10	?	?	1
G 53	57	2			3	?	?	2	5	30	?	?	1
G 54	80	5			1						10	2	2

Ein ausgedehnter Ackerbau durch Eingeborene findet sich im Gebiet vor allem auf Böden wie 50/51 oder 53, während das Niedergrassteppenland fast völlig menschenleer ist.

Wie berechtigt diese erfahrungsmäßige Bodenwahl ist, zeigen die Tabellen 15 bis 17. Bei verhältnismäßig geringen absoluten Unterschieden der Bodenzusammensetzung und Struktur sind die verfügbaren Wasser- und Nährstoffmengen der Böden 50/51 und 53 das Doppelte bis Dreifache der Niedergrassteppenböden. Namentlich G 53 zeichnet sich in dieser Hinsicht merklich aus und gibt der Erfahrung der Eingeborenen völlig Recht. An chemischem Reichtum sind diese Böden allerdings in keiner Weise mehr mit den jungen Böden von Ed Dueim zu vergleichen, sondern decken nur ungefähr den Bedarf einer guten Mittelernte an Durra, wenigstens soweit es das Kalium angeht.

Auch auf diesen Böden kommt weitaus der größte Teil des verfügbaren Kalis aus der Bodenlösung. Die Lieferung aus den Komplexen

Tabelle 15. Physikalische Untersuchung des Bodens.

Zeichen und Nummer der Probe	In % Trockensubstanz Mechanische Zusammensetzung								Strukturfaktor	Hygroskopisches Wasser	Minimale Wasserkapazität	Totes Wasser in % für		Kritische Schicht	Steighöhe				Bei Ausgang von			
	Grobsand I	Feinsand I	Schluff I	Ton I	Grobsand II	Feinsand II	Schluff II	Ton II				Mais Baumwolle Weizen	Bohnen Bersim	cm	nach 5 Stunden	nach 25 Stunden	Total	1000 × q	feste Teile %	Wasser %	Luft %	Lineare Schrumpfung %
G 50	10,5	16,7	18,2	54,6	11,1	49,2	27,9	11,8	78	10,8	31,9	16,8	19,3	59,4	260	503	625	11,0	52	43	5	8,0
G 51	9,6	15,0	16,0	59,4	10,0	42,0	33,8	14,2	76	11,8	36,5	19,6	22,7	52,3	200	414	556	16,0	50	46	4	11,0
G 52	6,3	11,3	16,2	66,2	6,6	26,5	40,0	26,9	59	16,2	53,0	26,7	30,7	18,1	43	118	208	92,0	40	57	3	15,0
G 53	5,4	13,2	15,8	65,6	5,8	57,4	24,1	12,7	81	15,6	51,8	24,8	28,5	65,0	111	345	714	38,0	39	60	1	16,0
G 54	57,1	16,0	10,3	16,6	58,0	19,8	16,4	5,8	65	2,1	14,5	3,6	4,3	22,0	187	227	241	6,0	69	23	8	0,5

Tabelle 16. Chemische Untersuchung des Bodens (Analysendaten).

Zeichen und Nummer der Probe	p_H		C	N	C/N	P_2O_5		Zusammensetzung der löslichen Salze in Milliäquivalent					Zusammensetzung der Komplexsättigung in Milliäquivalent												V	K in Milliäquivalent nach NEUBAUER
	in Wasser	in n-KCl	%	%	%	Total %	nach NEUBAUER mg	Karbonate	Na	K	Mg/2	Ca/2	H	Na	q_{Na}	K	q_K	Mg/2	q_{Mg}	Ca/2	q_{Ca}	S	q_S	T	%	
G 50	8,4	7,6	1,09	0,05	22	0,051	8,44	0,16	0,45	0,01	—	0,57	0,53	0,93	163	0,88	180	7,69	5,58	36,80	0,86	46,30	0,78	46,83	99	0,65
G 51	8,4	7,0	1,07	0,05	22	0,035	7,69	0,20	1,28	0,01	—	0,36	0,62	2,22	23,3	0,41	259	9,30	4,28	37,82	1,00	49,75	0,78	50,37	99	0,38
G 52	9,0	7,6	1,07	0,04	27	0,039	6,38	0,25	1,61	0,01	—	0,23	0,64	6,06	5,6	1,08	241	10,05	5,34	48,17	1,03	65,36	0,76	66,00	99	0,40
G 53	8,6	7,0	1,09	0,04	27	0,044	6,21	0,33	1,00	<0,01	—	0,21	0,71	3,66	10,1	1,58	231	10,86	3,90	48,42	0,96	64,52	0,74	65,23	99	0,49
G 54	7,0	7,0	0,88	0,05	18	0,018	5,30	0,03	?	0,02	[illegible]	0,15	2,14	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	71	0,14

Tabelle 17. Untersuchung des Bodens (Übersichtsdaten).

Zeichen und Nummer der Probe	cbm verfügbares Wasser		Verfügbares Kali aus			Total
	Leguminosen	Baumwolle, Mais	Lösung	Komplex	Mineral	
G 50	511	612	0,40	0,10	?	1,92
G 51	1876	2298	1,36	0,06	?	
G 52	838	988	0,38	0,08	?	0,46
G 53	3071	3558	1,32	0,08	?	1,40
G 54	814	860	1,58	0,003	?	1,58

ist verhältnismäßig gering, und von einer Beteiligung der Mineralien ist praktisch kaum die Rede. Die damit charakterisierte leichte Erschöpfbarkeit der Böden wird durch die praktische Erfahrung, daß auch hier nach wenigen Jahren ein Wechsel der Felder nötig ist, bestätigt.

d) Die Böden des Irrigationsgebietes der Gezira.

Der Nachweis, daß es sich in der östlichen Gezira (Tabelle 18) nicht um irgendwie mit Löß in Parallele zu setzende Böden handeln kann, daß sie ihrer Hauptmenge nach also nicht äolischen Ursprungs sind, wird durch die Daten der mineralogischen Analyse der Geziraböden (einschließlich der Bodenproben: Old Alluvium und Recent Alluvium von Khartum und der Muster Shambat A-P) geliefert.

In allen Bodenschichten bis 2 m Tiefe finden sich Reste von Muschelschalen, ein schlüssiger Beweis, daß der Boden sich unter Wasserüberschuß gebildet hat (Tabelle 19). Der sehr gleichmäßige Gehalt aller Geziraböden an Grobsand, d. h. an Korngrößen, deren Transport durch Wind auf große Strecken völlig außer Frage steht (Tabelle 20), schließt die letzte Möglichkeit aus, die für die äolische Theorie noch bestände: daß das äolische Material etwa in Wasser abgesetzt wäre.

Als Grundlage der Erörterung der praktischen Bodenprobleme der Gezira seien die Profile G 8—13, G 28—33 und G 14—19 benutzt, die von Dr. GREENE, dem wir die Muster verdanken, als Typen der Böden der mittleren Gezira betrachtet werden.

Profil G 8—13 in Stufen von je 30 cm stellt einen aus je 4 typischen Böden (J. F. 1—24 und E. Z. 1—24, Bezeichnung des Gezira Research Laboratory Wad-Medani) gemengtes Sammelprofil eines sogenannten

Tabelle 18. Bodenbeschreibung.

Zeichen und Nummer der Probe	Land	Provinz	Ort	Tiefe des Musters cm	Farbe	Verhalten des Bodens beim Trocknen	Bemerkungen über den Bau des Profils und Grundwasserstand	Bemerkungen über Ertragsklasse, Fruchtfolge, Düngung, evtl. über natürliche Vegetation
K 63	Sudan	Kassala	28 Meilen w. Sufiya	0—30	braun	in Schollen reißend	± 50 cm mächtige Tonschicht, wahrscheinlich in der Hauptsache eluvial aus Gestein, das unmittelbar darunterliegt	Hochgrassteppe
K 65	„	„	38 Meilen w. Sufiya	0—30	„	„	„	Außer wenigen stacheligen Kräutern ohne Vegetation
K 66	„	Blue Nile	Karim	0—30	rot	krümelig	Oberfläche leicht humos mit org. Resten. Nach unten stark verfestigt, von 30 cm Tiefe an von Steinchen und Kalkkonkretionen durchsetzt. Grundwasser ± 80 m tief	Dornbuschsteppe, als Weideland genutzt
K 67	„	„	„	30—60	„	bröckelig		
O A	„	Khartoum	Khartoum	0—30	weißbraun	krümelig	Altes Alluvium des Bahr el Azraq. Oberfläche des Hochufers, diagenetisch verändert. Viele Kalkkonkretionslagen, verkalkte Wurzeln usw.	Akazienbuschsteppe, nicht ackerbaulich benutzt
R A	„	„	„	0—30	„	„	Junges Alluvium des Bahr el Azraq. Oberfläche der rezenten Ansatzterrasse unterhalb O A jährlich neu abgesetzt	Getreide- und Gemüsefelder, fruchtbar

G 8	,,	Blue Nile	Wad el Shafi-Lugad	0—30	grau-braun	bröckelig	Sog. Höhenboden. Gemischte Profilproben	Höhenböden 1. Geeignet zum Baumwollbau
G 9	,,	,,	,,	30—60	,,	,,	,, ,,	
G 10	,,	,,	,,	60—90	,,	,,	,, ,,	
G 11	,,	,,	,,	90—120	grau	,,	,, ,,	
G 12	,,	,,	,,	120—150	,,	,,	,, ,,	
G 13	,,	,,	,,	150—180	,,	,,	,, ,,	
G 28	,,	,,	Wad Medani Research Farm	0—30	braun	krümelig	Unter braunem Oberflächenboden treten in ± 50 cm Tiefe vereinzelte Stückchen $CaCO_3$-Konkretionen, in 60—70 cm Tiefe Gipskristalle auf, die sich durch die sog. „graue Lage“ (90—120 cm) fortsetzen, aber an deren unterer Grenze gegen mürbe Karbonataggregate zurücktreten. Unter der „grauen Lage“ beginnt gelbbrauner, sehr fest gelagerter Boden bis in unbekannte Tiefe, der total mit größeren Gipskristallen und vereinzelten Karbonataggregaten durchsetzt ist	Höhenböden 2. Mittelmäßiger Baumwollboden
G 29	,,	,,	,,	30—60	,,	bröckelig		
G 30	,,	,,	,,	60—90	grau	,,		
G 31	,,	,,	,,	90—120	gelb-braun	,,		
G 32	,,	,,	,,	120—150	,,	,,		
G 33	,,	,,	,,	150—180	,,	,,		
G 14	,,	,,	Gannabia Hameidan 50	0—30	grau	krümelig	Senkenboden. Gemischte Profilproben	Senkenboden. Schlechter Baumwollboden
G 15	,,	,,	,,	30—60	,,	bröckelig	,, ,,	
G 16	,,	,,	,,	60—90	,,	,,	,, ,,	
G 17	,,	,,	,,	90—120	,,	,,	,, ,,	
G 18	,,	,,	,,	120—150	,,	,,	,, ,,	
G 19	,,	,,	,,	150—180	,,	,,	,, ,,	

Tabelle 19. Mineralogische Untersuchung des Bodens.

Zeichen und Nummer der Probe	Sand mm	Zusammensetzung der Feinerde: Quarz	Orthoklas usw.	Plagioklas	Kaliglimmer	Magnesiaglimmer	Amphibole u. Pyroxene	Gips[1])	Kalkdetritus	Muschelschalen usw.	Kalkkonkretionen	Eisenkonkretionen	Magnetit	Sek. Fe-Mineral	Holzkohle	Zersetz. Material
K 63	2—0,2	68	2	5	?				10		15					
	0,2—0,02	87	?	3	?	1	5		3				1			
K 65	2—0,2	23	?	2					5		70					
	0,2—0,02	85		2	?	?	5		1				2	5		
K 66	2—0,2	93	1	5								1				
	0,2—0.02	86		2									?	10		2
K 67	2—0,2	93	1	5								1				
	0,2—0,02	91		1									?	5		3
O A	2—0,02	10	5							5	70					
	0,2—0,02	7	?	5	?	1	5		10		80			2		
R A	2—0,2	Nur Spuren vorhanden!														
	0,2—0,02	42	?	25	?	10	20							3		
G 8	2—0,2	36	?	2					10	?	50	2				
	0,2—0,02	78	?	7		?	1		1	2	5	?	1	3	1	1
G 9	2—0,2	68	?	5			1		5	1	20					
	0,2—0,02	75	?	10		?	7		?	?	?		1	5	1	1
G 10	2—0,2	46	?	3					20	1	30	?				
	0,2—0,02	88	?	5		?	2		?	?	?		1	3	1	
G 11	2—0,2	27	?	3				?	40	?	30		?	?		
	0,2—0,02	84	?	5		?	5		?	?	?		4	2	?	
G 12	2—0,2	8	?	1			1	?	70	?	20		?			
	0,2—0,02	90	?	2		?	2		?	?	?		3	3	?	?
G 13	2—0,2	8	?	?			1	?	80	?	10		1			
	0,2—0,02	82	?	5		2	5		1	1	?		2	2	?	
G 28	2—0,2	56	?	2					10	2	30					
	0,2—0,02	91	?	3			2	?	1	?	?		1	2		?
G 29	2—0,2	37	?	2					10	1	50					
	0,2—0,02	88	?	5			3	?	1	?	?		1	2		?
G 30	2—0,2	56	?	3		?			10	1	30					
	0,2—0,02	89	?	4		?	3	?	1	?	?		1	2		?
G 31	2—0,2	46	?	3		?			30	1	20					
	0,2—0,02	86	?	5		1	4	?	?	?	?		1	1		2
G 32	2—0,2	36	?	2		?			20	2	40					
	0,2—0,02	86	?	5		1	4	?	?	?	?		1	1		2
G 33	2—0,2	43	?	2		?			20	5	30					
	0,2—0,02	87	?	5		1	3	?	?	?	?		1	1		2

[1]) Das Zurücktreten von Gips erklärt sich durch seine Auflösung bei der mechanischen Analyse!

Tabelle 19 (Fortsetzung).

Zeichen und Nummer der Probe	Sand mm	Zusammensetzung der Feinerde														
		Quarz	Orthoklas usw.	Plagioklas	Kali-glimmer	Magnesia-glimmer	Amphibole u. Pyroxene	Gips[1])	Kalk-detritus	Muschel-schalen usw.	Kalkkon-kretionen	Eisenkon-kretionen	Magnetit	Sek. Fe-Mineral	Holzkohle	Zersetz. Material
G 14	2—0,2	89	?	2					3	1	5		?	?		
	0,2—0,02	90	?	4		?	2		2	?	?		1	1		?
G 15	2—0,2	79	?	2		?	?		10	1	10		?			
	0,2—0,02	79	?	5		2	7		4	?	?		1	?		?
G 16	2—0,2	86	?	3					3	1	7		?	?		
	0,2—0,02	70	?	5		3	10		2	?	?		5	5		?
G 17	2—0,2	86	?	4			?		5	?	5		?			
	0,2—0,02	88	?	3	?	?	2	?	2	?			?	2		1
G 18	2—0,2	90	?	5			?	?	3	?	2		?	?		
	0,2—0,02	84	?	7		?	1	1	3	?			1	2		1
G 19	2—0,2	84	?	2					11	?	3		?	?		
	0,2—0,02	91	?	2		?	?	1	5	?			?	?		1
A-P	2—0,2	59		1		5	5		20	1	5			3		
Au-Pu	0,2—0,02	57		5		2	20		?	?	—			10		1

„Höhenbodens“ von Wad el Shafi Lugad, Profil G 14—19 ein ebensolches (R. L. 1—24, O. L. 1—24) eines „Senkenbodens“ von Gannabia Hameidan dar. G 28—33 repräsentiert den Boden des Versuchsfeldes Wad-Medani.

Die Differenzen zwischen Höhe und Senke betragen zwar oft kaum Dezimeter; diese Unterschiede sind aber in ariden Gegenden, wo die Flächenspülung zum beherrschenden Faktor der lokalen Bodenneubildung wird, von ausschlaggebender Bedeutung.

Makroskopisch unterscheiden sich die Böden wesentlich durch die Farbe: Der Höhenboden ist brauner als der ausgesprochen graue Senkenboden, der längere Zeit mit Wasser in Berührung ist. Praktisch gelten die Höhenböden erfahrungsgemäß als relativ gut zum Baumwollbau geeignet, die Senkenböden dagegen als relativ wenig geeignet. Der Boden von Wad-Medani gehört zu den Höhenböden, gilt aber erfahrungsgemäß als recht mittelmäßiges Kulturmedium.

Wegen der Einzelheiten sei auf die in Tabelle 18 gegebene Beschreibung verwiesen.

---

[1]) Das Zurücktreten von Gips erklärt sich durch seine Auflösung bei der mechanischen Analyse!

Mineralogisch bestehen zwischen den Profilen gewisse Differenzen (siehe Tabelle 19), die aber keinen Wesensunterschied bedingen. Die Mineralreserve ist bei allen drei Profilen bezüglich Kalk als gut, bezüglich Magnesia als mittelmäßig, bezüglich Kali als praktisch kaum vorhanden zu bezeichnen. Apatit tritt überall nur sporadisch auf.

Ihrem Charakter nach sind makroskopisch sämtliche Böden als mehr oder weniger schwere Tone zu bezeichnen. Wie beträchtliche Unterschiede aber tatsächlich in der mechanischen Zusammensetzung zwischen den Profilen bestehen, zeigen die Ziffern der Tabelle 20, und zwar besonders die Tonfraktionsziffern II, die die mechanische Zusammensetzung im natürlichen Koagulationszustand geben. Die Unterschiede springen besonders bei der graphischen Darstellung im Diagramm, Abb. 21, ins Auge.

Als besonders charakteristisch ist das Profil Wad-Medani zu betrachten, da dieses ein Einzelprofil ist, während die beiden anderen Profile aus je 4 Einzelprofilen zusammengesetzte Mischprofile sind. Es versteht sich von selbst, daß bei dem schon auf kurze Strecken großen Wechsel der Profildichte beim Mengen von Profilproben verschiedener Entnahmestellen am einzelnen Ort scharf ausgesprochene Horizontdifferenzen sich im Sammelmuster weitgehend verwischen müssen. Dafür hat auf der anderen Seite ein derartiges kritisch entnommenes Mischmuster in seinen Horizontverschiedenheiten für die Beurteilung praktischer Fragen eine besondere Beweiskraft, sobald, wie es hier der Fall ist, auch in der Mischprobe noch markante Unterschiede zum Baumwollbau geeigneter und nicht geeigneter Böden sich zeigen.

Die absolute mechanische Zusammensetzung des Wad-Medani-Profiles G 28/33 ist durch die Periodizität der Fraktionen von Probenahmeschicht zu Probenahmeschicht besonders interessant. In den Schichten 120—150 und 30—60 cm sind scharf ausgeprägte Minima des Ton- und Schluffgehaltes der Böden, bei 150—180, 90—120, 0—30 cm Tiefe ebenso scharfe Maxima vorhanden. Dieser Wechsel in der Korngrößenzusammensetzung der einzelnen Tiefenzonen ist als Schlußstein des Beweises gegen die äolische Entstehung der Böden der Gezira zu werten. Daß diese Differenzen der Horizonte in den Mischprofilen G 8/13 und G 14/19 nur noch andeutungsweise erhalten sind, kann nicht überraschen.

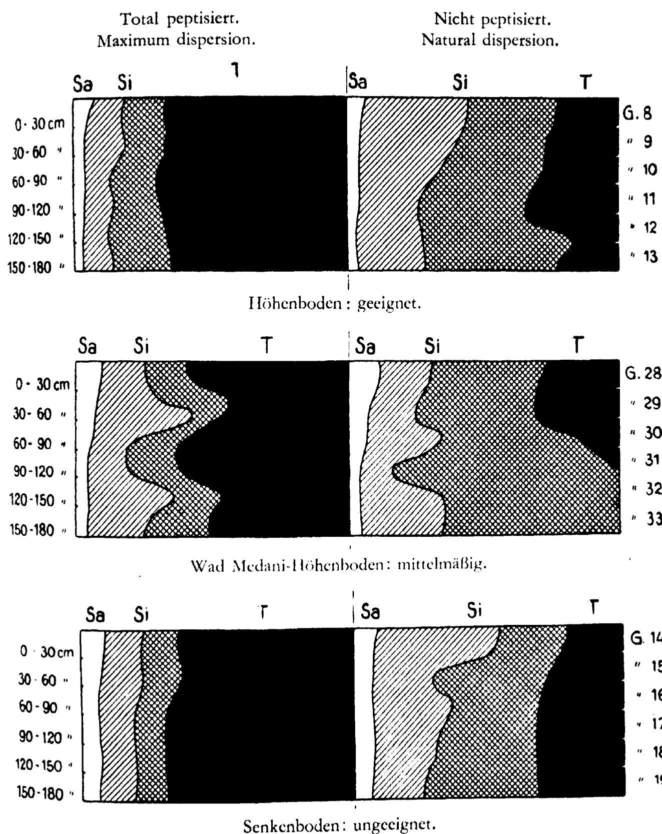


Abb. 21. Mechanische Zusammensetzung der Gezira-Profile. T = Ton, Si = Schluff, Sa = Sand. — Mechanical Composition of the Gezira Soil Profiles.

Besonders interessant sind die Verhältnisse, die der Koagulationszustand der Tonsubstanz in den einzelnen Böden in nicht peptisiertem Zustande zeigt. Im Wad-Medani-Profil enthalten nur die 4 obersten Fuß des Bodens in natürlicher Lagerung nichtkoagulierte Tonsubstanz.

Tabelle 20. Physikalische Untersuchung des Bodens.

Zeichen und Nummer der Probe	In % Trockensubstanz Mechanische Zusammensetzung								Struktur-faktor	Hygroskopisches Wasser	Minimale Wasserkapazität	Totes Wasser in % für				Kritische Schicht cm	Steighöhe				Bei Ausgang von			
	Grobsand I	Feinsand I	Schluff I	Ton I	Grobsand II	Feinsand II	Schluff II	Ton II				Mais	Baumwolle	Weizen	Bersim		nach 5 Stunden	nach 25 Stunden	Total	1000 × q	% feste Teile	% Wasser	% Luft	% Lineare Schrumpf.
K 63	10,1	14,9	20,0	55,0	10,6	29,2	38,2	22,0	60	12,5	42,5		20,2		23,3	47	150	348	500	23,5	45	48	7	13,0
K 65	7,2	15,1	15,7	62,0	8,0	26,8	41,4	23,8	62	14,1	51,9		23,2		27,0	39	72	219	435	58,0	41	49	10	15,0
K 66	38,3	10,5	11,8	39,4	39,5	19,2	24,9	16,4	58	4,1	22,5		6,5		7,5	48	220	395	500	12,5	60	31	9	5,0
K 67	40,6	10,4	10,7	38,3	41,2	14,3	37,2	7,3	81	4,8	23,8		7,6		8,8	56	280	475	588	9,5	57	34	9	5,5
O A	15,3	55,9	21,8	7,0	22,5	53,9	18,8	2,8	60	13,7	46,0		22,4		27,6	79,1	271	580	833	12,5	40	53	7	1,0
R A	0,3	42,3	30,2	27,2	0,8	79,2	15,7	4,3	84	8,6	54,2		11,1		12,8	63,6	267	516	667	11,0	42	58	—	8,0
G 8	6,0	11,6	16,1	66,3	6,2	38,3	33,7	21,8	67	14,5	53,5		23,5		27,1	11	44	90	122	73	42	57	1	15,0
G 9	4,1	14,2	16,0	65,7	4,2	34,6	35,2	26,0	60	15,9	64,4		26,3		30,6	3,4	12	29	45	305	40	57	3	17,5
G 10	3,9	9,5	16,0	70,6	4,2	28,8	39,4	27,6	61	16,7	68,2		28,2		32,9	2,9	8	33	43	510	37	62	1	16,0
G 11	3,6	11,2	15,2	70,0	3,8	21,2	39,4	35,6	49	16,4	66,1		29,9		35,4	3,2	14	28	37	223	38	59	3	18,0
G 12	2,9	9,3	19,8	68,0	3,0	25,3	55,6	16,1	76	15,6	66,4		30,0		36,0	3,1	15	29	38	202	38	60	2	17,5
G 13	3,1	11,0	21,7	64,2	3,3	26,1	48,8	21,8	66	15,1	62,1		27,8		33,1	6,2	23	51	74	150	38	58	4	16,0
G 28	9,2	15,9	14,9	60,0	10,8	20,2	43,2	26,6	56	13,3	55,5		22,4		26,2	9,3	17	54	119	252	43	53	4	16,0
G 29	6,6	35,8	13,5	44,1	7,2	17,3	43,5	32,0	27	14,5	59,3		25,1		29,5	4,0	8	26	59	541	41	54	5	16,0
G 30	6,5	14,9	16,5	62,1	7,0	27,5	54,1	11,4	82	13,3	47,8		33,5		42,0	11	40	86	122	84	42	50	8	13,5
G 31	4,0	12,8	19,7	63,5	4,5	13,5	72,0	—	100	13,7	55,0		40,5		51,9	40	40	150	476	115	41	47	12	15,0
G 32	4,3	31,0	17,3	47,4	5,1	29,8	65,1	—	100	11,5	46,3		38,4		49,7	35	63	193	400	67	42	46	12	14,0
G 33	3,7	21,0	23,2	52,1	4,2	32,4	63,4	—	100	11,6	50,7		40,2		52,3	71	45	185	833	105	42	54	4	14,0
G 14	9,1	14,2	13,1	63,6	9,5	46,0	24,2	20,3	68	13,1	51,8		22,2		26,0	17	60	135	196	58	42	55	3	15,0
G 15	8,6	15,5	13,7	62,2	8,7	21,5	32,6	27,1	56	14,1	55,5		23,6		27,6	5,4	20	44	67	176	37	60	3	17,0
G 16	6,9	14,0	11,1	68,0	7,8	27,6	34,3	30,3	55	14,4	77,5		24,5		28,6	1,7	6	16	27	652	33	58	9	19,5
G 17	7,5	12,9	11,1	68,5	8,3	24,8	36,1	30,8	55	14,4	75,0		24,8		29,0	2,2	12	22	28	237	33	61	6	18,5
G 18	8,0	11,7	11,8	68,5	8,6	22,2	38,7	30,5	55	14,6	73,5		26,3		31,2	2,2	12	22	28	237	34	59	7	19,0
G 19	6,9	13,1	10,0	69,1	7,8	17,9	42,2	32,1	52	14,7	71,7		26,8		31,8	2,3	10	22	31	341	36	61	3	18,0

Tabelle 21. Chemische Untersuchung des Bodens (Analysendaten).

Zeichen und Nummer der Probe	p_H		C	N	C/N	P_2O_5 %		Zusammensetzung der löslichen Salze in Milliäquivalent					Zusammensetzung der Komplexsättigung in Milliäquivalent													V	K in Milliäquivalent nach NEUBAUER
	in Wasser	in n-KCl·	%	%		Total	nach NEUBAUER	Karbonate	Na	K	Mg/2	Ca/2	H	Na	q_{Na}	K	q_K	Mg/2	q_{Mg}	Ca/2	q_{Ca}	S	q_S	T	%	
K 63	9,0	7,6	0,88	0,03	29	0,020	0,0085	0,15	1,03	0,01	—	0,35	0,67	1,63	8,2	0,88	130,7	5,65	8,32	45,03	0,91	53,19	0,78	53,86	99	0,43
K 65	9,0	7,6	0,78	0,03	26	0,060	0,0085	0,23	1,48	0,01	—	0,20	0,64	4,94	4,4	0,14	175,4	4,89	7,88	45,88	0,96	56,85	0,75	57,49	99	0,50
K 66	7,0	7,0	0,86	0,03	29	0,053	0,0089	0,05	0,23	0,04	—	0,29	1,71	0,24	?	0,54	36,3	4,78	1,76	9,10	0,89	14,66	0,64	16,37	89	0,85
K 67	8,0	7,6	0,80	0,01	80	0,021	0,0077	0,13	0,28	0,01	—	0,49	0,58	0.15	?	0,22	123,8	6,25	1,80	13,91	1,01	20,53	0,68	21,11	97	0,43
O.A.	9,4	7,0	0,83	0,02	42	0,010	?	0,57	3,16	0,02	—	0,10	0,79	14,83	0,40	0,17	› 500	14,58	2,40	16,29	2,72	45,87	0,58	46,66	98	0,18
R.A.	7,6	7,6	1,48	0,08	18	0,090	?	0,18	0,32	0,03	—	0,74	1,03	0,36	› 200	0,51	28,9	8,85	3,62	26,38	1,39	36,10	0,96	37,13	97	1,35
G 8	8,8	7,6	0,88	0,03	29	0,101	0,0002	0,33	1,24	0,02	—	0,35	0,93	2,75	6,5	2,60	98,5	7,81	6,26	45,66	0,90	58,82	0,76	59.75	98	0,60
G 9	8,6	7,6	0,91	0,02	45	0,053	0,0017	0,40	1,77	0,02	—	0,36	1,19	7,41	2,0	1,64	95,1	8,93	5,76	42,99	1,08	60,97	0,72	62,16	98	0,64
G 10	8,6	7,6	0,92	0,02	46	0,124	0,0019	0,43	2,23	0,02	—	0,29	1,33	8,85	2,8	2,00	135,1	9,34	3,92	42,31	1,21	62,50	0,76	63,83	98	0,72
G 11	9,0	7,6	0,98	0,04	24	0,100	?	0,46	3,73	0,04	—	0,33	1,23	9,26	2,8	1,23	103,7	13,33	4,66	37,91	1,22	61,73	0,76	62,96	98	0,76
G 12	8,6	7,6	1,04	0,03	35	0,083	?	0,41	4,69	0,05	—	0,49	0,99	9,59	5,0	1,46	110,2	12,28	2,92	34,47	1,08	57,80	0,70	58,79	98	0,95
G 13	9,0	7,6	0,97	0,02	48	0,050	?	0,43	3,66	0,06	—	0,37	0,99	9,16	3,3	3,86	205,4	11,88	2,82	28,86	0,96	53,76	0,70	54,75	98	0,84
G 28	9,0	7,8	0,80	0,02	40	0,109	?	0,44	1,80	?	—	0,14	0,82	7,58	1,2	0,96	80,5	7.94	4,54	34,01	1,14	50,50	0,66	51,32	98	0,62
G 29	9,0	7,6	0,79	0,02	39	0,102	?	0,49	2,43	?	—	0,16	0,86	10,99	0,7	0,93	92,3	8,77	4,92	31,67	1,33	52,36	0,64	53,22	98	0,59
G 30	8,8	7,6	0,86	0,02	43	0,136	?	0,26	9,30	0,04	0,37	1,98	0,65	6,25	1,3	1,34	163,7	10,42	4,56	33,54	0,99	51,55	0,66	52,20	99	0,61
G 31	8,8	7,6	0,84	0,02	42	0,150	0,0017	0,25	12,83	0,07	1,41	5.78	0,57	5,90	5,3	1,45	201,6	12,21	4,28	34,20	0,91	53,76	0,70	54,33	99	0,66
G 32	8,6	7,0	0,67	0,01	33	0,111	0,0006	0,13	12,26	0,08	2,78	12,76	0.53	5,65	11,30	1,12	161,0	13,14	7,40	24.73	0,93	44,64	0,62	45,17	99	0,72
G 33	8,1	7,6	0,69	0,01	34	0,110	0,0005	0,15	12,56	0,12	3,63	12,77	0,60	5.39	15,80	1,10	203,6	11,86	5,36	26,69	0,24	45,04	0,60	45,64	99	0,84
G 14	9,0	7,6	0,94	0,04	23	0,140	?	0,42	1,80	0,06	—	0,30	0,82	4,43	9,4	3,57	100,2	8,69	3,74	33,06	1,35	49,75	0,66	50,57	98	0,61
G 15	9,0	7,6	0,92	0,03	34	0,070	0,0036	0,48	1,79	0,03	—	0.32	1,05	6,83	5,0	3,07	79,8	9,97	4,54	32,49	0,89	52,36	0,72	53,41	98	0,72
G 16	9,0	7,6	0,88	0,04	22	0,071	0,0015	0,47	2,04	0,02	—	0,22	1,11	7,91	3,8	2,22	66,0	10,63	4,36	32,43	0,99	53,19	0,70	54,30	98	0,59
G 17	9,0	7,6	0,86	0,03	29	0,140	0,0018	0,49	2,26	0,01	—	0,32	1,04	8,28	1,9	1,99	60,9	11,63	3,90	31,29	1,21	53,19	0,70	54,23	98	0,70
G 18	9,0	7,6	0,88	0,03	29	0,200	0,0027	0,49	3,14	0,04	—	0,38	1,06	8.87	3,4	2,38	78,4	12,66	4,40	29,28	0,83	53,19	0,66	54,25	98	0,74
G 19	9,0	7,6	0,91	0,03	30	0,131	0,0026	0,54	3,36	0,06	—	0,38	1,18	8.87	2,0	1,81	74,6	12,63	3,30	30,45	1,31	53,76	0,70	54,94	98	0.88

Ihre Menge nimmt schon in der dritten Lage stark ab, ist in der vierten kaum nennenswert und in der fünften und sechsten Lage bei Strukturfaktoren von 100 völlig verschwunden.

Ein Blick auf die Daten der Tabellen 21 und 22 zeigt sofort den Grund dieses eigenartigen Verhaltens. In der vierten bis fünften Schicht nimmt in der Zusammensetzung der löslichen Bodensalze das Ca-Ion, d. h. das Ion mit der stärksten Koagulationswirkung, einen immer größeren Anteil ein.

Bei der Wichtigkeit des Ionenantagonismus in der Bodenlösung für die Koagulationsvorgänge ist eine Beziehung zwischen Zusammensetzung und Koagulationszustand des Bodens in erster Linie im Hinblick auf das Verhältnis Ca/Na und den Strukturfaktor, d. h. den Prozentsatz des koagulierten Tones, zu erwarten.

Diagramm Abb. 22, das die Zahlen der Tabelle 22 graphisch zur Anschauung bringt, zeigt, daß diese Erwartung sich erfüllt.

Tabelle 22. 100 · Ca/Na in der Bodenlösung verglichen mit Strukturfaktor der Profile G 8/13, G 28/33, G 14/19.

Nr.	Ca/Na	Strukturfaktor	Nr.	Ca/Na	Strukturfaktor	Nr.	Ca/Na	Strukturfaktor
G 8	28,2	67	G 28	7,8	56	G 14	16,6	68
G 9	20,3	60	G 29	6,6	27	G 15	17,7	56
G 10	13,0	61	G 30	20,2	82	G 16	11,0	55
G 11	8,9	49	G 31	45,2	100	G 17	14,4	55
G 12	10,4	76	G 32	104,0	100	G 18	12,3	55
G 13	10,1	66	G 33	101,7	100	G 19	11,2	53

Bei der Betrachtung des Ca:Na-Verhältnisses im Salzgehalt der Böden ist noch auf einen wichtigen Umstand aufmerksam zu machen. Infolge der geringen Löslichkeit des Ca-Sulfates von ca. 0,2% bei 30°C entsprechend ca. 3,0 Milliäquivalent $Ca/_2$ in 100 ccm Bodenwasser bzw. 0,03 Milliäquivalent pro Prozent Bodenwasser und 100 g Trockensubstanz, bei großer Löslichkeit aller übrigen Salzkomponenten, muß sich das Ca/Na-Verhältnis je nach der Menge des vorhandenen Bodenwassers in der effektiven Bodenlösung ständig ändern.

Es verschiebt sich, wie leicht nachzurechnen ist, prinzipiell zugunsten des Ca mit zunehmender Wassermenge, bis aller Gips im Boden in Lösung ist, um erst dann konstant zu bleiben.

Verschiebung des Ionenverhältnisses in der Lösung bedeutet aber Ionenaustausch zwischen Lösung und Komplex, und zwar muß sich bei geringer Bodenwassermenge, also engem Ca/Na-Verhältnis, Na-Ton bilden, bei hohem Wassergehalt des Bodens und damit weiterem Ca/Na-Verhältnis Ca-Ton.

Das heißt, daß Gips als Meliorationsmittel nur bei gleichzeitigem hohem Wassergehalt des Bodens seine Wirkung entfalten kann, die

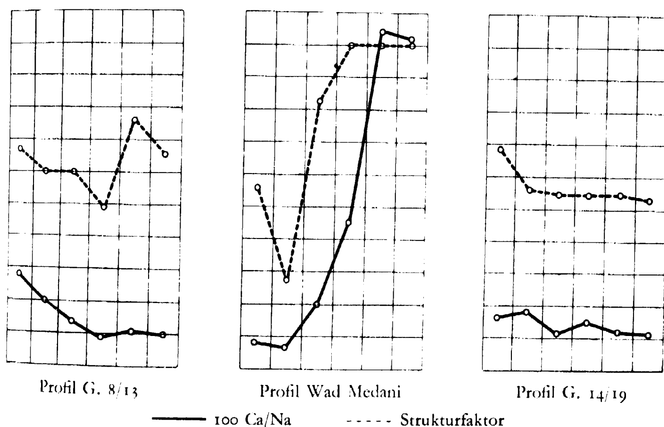


Abb. 22. Verhältnis 100 Ca/Na und Strukturfaktor.
Ratio 100 Ca : Na and structural factor.

weitgehend wieder rückläufig werden muß, sobald der Boden austrocknet, wenn nicht die Na-Salze entfernt werden.

Auf Böden mit einem dem minimalen Porenvolumen nahekommenden oder ihn überschreitenden Betrage toten Bodenwassers, wie es die Böden der Gezira sind (s. Tabelle 20—21), ist trotz des entgegengesetzten Augenscheins die Annahme von Tiefgründigkeit ein Trugschluß. Sie sind nämlich infolge ihrer starken Quellung nicht in der Lage, sich selbst bei noch so lange dauernder Überflutung mit Wasser auch nur bis zur minimalen Wasserkapazität zu sättigen, ohne die Oberfläche völlig zu verschlämmen. Diese Böden sind daher in Wirklich-

keit außerordentlich flachgründig und bilden, ohne tiefgehende Melioration, ein sehr schwieriges Irrigationsobjekt.

Das nutzbare Bodenvolumen der Geziraböden ist im großen und ganzen kaum wesentlich über 60 cm Tiefe zu veranschlagen. Eine Betrachtung der Tabellen lehrt, daß nur bei sehr wenigen Böden der Gezira der maximale Wasserbedarf während des heute verwendeten Irrigationsintervalles gedeckt ist. In der Mehrzahl der Fälle bleibt der im Boden überhaupt mögliche verfügbare Wassergehalt weit unter dem Maximalbedarf, während dieser Zeit und namentlich gegen das Ende der Zwischenperiode muß fast überall aus Wassermangel eine Vegetationshemmung eintreten.

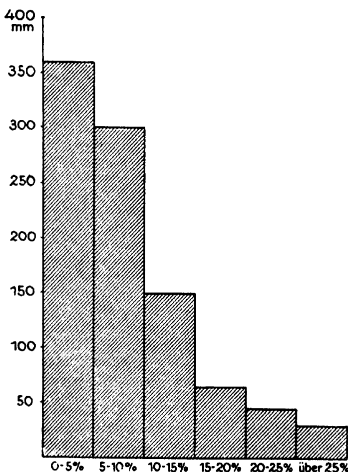


Abb. 23. Endsteighöhe als Funktion des prozentischen Na-Gehaltes der Komplexe der Tonböden der Gezira (über 50% Ton).
Capillary rise as function of the percentage content of sodium in the colloidal complexes of the clay soils from Gezira (more than 50% clay).

Auf diesen Böden können mithin nur solche Kulturmaßnahmen Erfolg haben, die ihren Wasserhaushalt verbessern. In erster Linie gehört hierzu ein Ersatz des Na-Ions in den Adsorptionskomplexen dieser Böden durch andere Ionen; denn die Wasserbeweglichkeit und Wasserdurchlässigkeit in diesen Böden sind außer vom Tongehalt in erster Linie von der Art der Komplexbelegung abhängig.

Wie sich im Mittel des gesamten von uns untersuchten Bodenmaterials aus dem Sudan die Verhältnisse stellen, zeigt Diagramm 23, das die Endsteighöhe für Gruppen von je 5% des Na-Gehaltes der Komplexe von Tonböden mit über 50% Fraktion $< 0{,}002$ mm wiedergibt.

Die Abhängigkeit der Steighöhe vom Na-Gehalt ist, bei aller Größe der Schwankungen im Einzelfalle, im ganzen sehr scharf ausgesprochen. Die kritische Zone des Gehaltes liegt sehr deutlich zwischen 10 und

25% Na, wo eine kleine Vermehrung des Natriums sofort einem sehr starken Sinken der Wasserbeweglichkeit und damit bei diesen Böden der Durchlässigkeit entspricht, während unterhalb 10% Na im Komplex die Böden gegen Na-Vermehrung noch nicht und über 25% Na nicht mehr empfindlich sind. Ein wichtiger Gesichtspunkt für die Beurteilung der Auswirkung des Irrigationswassers und evtl. Na-haltiger Düngemittel auf die Irrigationsböden ist damit gewonnen.

Das Na erscheint als der gefährlichste Feind der Geziraböden und der schweren Irrigationsböden überhaupt.

Vom Meliorationsstandpunkt aus verdienen die inversen Zahlen, d. h. die prozentische mögliche Verbesserung der Steighöhe durch Verminderung des Na-Gehaltes der Komplexe, Interesse. Sie stellen sich für die einzelnen Gruppenpaare wie folgt:

Tabelle 23.

Reduktion des Na-Gehaltes	Zunahme der Steighöhe
von 25 auf 22,5%	17%
„ 22,5 „ 17,5%	86%
„ 17,5 „ 12,5%	146%
„ 12,5 „ 7,5%	100%
„ 7,5 „ 2,5%	12%

Die sehr verschiedene Erfolgsaussicht einer auf die Veränderung des Na-Tones gerichteten Melioration, z. B. Gipsdüngung je nach der individuellen Gestaltung der Komplexbelegung im Boden, geht aus diesen Zahlen sehr deutlich hervor.

Die Wasserbilanz der 3 Geziraprofile stellt sich bei Annahme voller Sättigung der Böden folgendermaßen (s. Tabelle 24):

Die letzte Rubrik der Tabelle, die den effektiv bei größtmöglicher Sättigung des Bodens nach Abzug der Verdunstung verfügbaren Wassergehalt des Bodens gibt, ist in der Weise ermittelt, daß die berechnete Verdunstung der Einzelschichten im Irrigationsintervall von 15 Tagen vom statisch verfügbaren Wasser abgesetzt und aus dem Rest das dynamische Wasser berechnet ist.

Ganz allgemein ergibt sich, daß auch bei größtmöglicher Sättigung der Böden bei Irrigationsintervallen von 15 Tagen der Maximalbedarf der Baumwolle von rund 50 cbm Wasser pro Tag bei weitem von den Geziraböden nicht gedeckt werden kann.

Der gute Höhenboden I (Profil 8/13) kann diesen Bedarf für 9 Tage, der mittelmäßige II (Profil 28/33) nur für 8 Tage decken. Der Senkenboden reichte mit seinem Wasser rund 14 Tage, volle Sättigung vorausgesetzt.

Aber diese volle Sättigung kann tatsächlich selbst durch die sogenannte starke Teilbewässerung von 1000 cbm pro Irrigation überhaupt nicht erreicht werden, so daß sich das Verhältnis des Wasserbedarfes zur Wasserversorgung der Baumwolle und damit die Wachstumsstagnation durch Wassermangel gegen Ende des Irrigationsintervalles noch viel ungünstiger gestaltet. Denn selbst unter der sehr günstigen Annahme, daß die Böden nur bis auf ihren Gehalt an totem Wasser austrocknen, würden

zur Sättigung des Höhenbodens	I	1627	cbm pro ha nötig sein.
„ „ „ „	II	1461	
„ „ „ Senkenbodens		2089	

Die gegebenen 1000 cbm Irrigationswasser sind zu wenig. Sie können nur die obersten Bodenschichten und diese nur teilweise sättigen, was sich auf das effektiv verfügbare Wasser verschärft auswirkt.

Höchsterträge sind bei dem gewählten Irrigationszyklus in der Gezira also von vornherein als ausgeschlossen zu betrachten.

Unter diesen Umständen bedeutet jede Vermehrung der Wasseranreicherung des Bodens erfahrungsgemäß auch eine Ertragsvermehrung, wobei die Frage der Rentabilität allerdings offen bleibt, da die Natur der Böden der Wirkung vermehrten Wassers enge Grenzen zieht.

Eine Abhilfe gegen die beschränkte Wasserversorgung ist namentlich bei den Böden mit sehr geringen kritischen Schichtdicken im nahen Untergrunde zunächst nur dadurch zu erwarten, daß der Boden vor der Irrigation sehr tief gelockert wird, so daß die Hauptmenge des Wassers nicht die Oberflächenschichten durchsickert, sondern auf größeren Rissen und Spalten durchläuft und damit weitgehend unter Anreicherung der Hauptwurzelschichten der Verdunstung entzogen und nutzbar gemacht wird, soweit es die Wasserbeweglichkeit in diesen Schichten überhaupt gestattet.

Schon allein nach den Daten der Tabelle ist ein bemerkenswerter Erfolg aller Tiefkulturmaßnahmen in der Gezira mit Sicherheit vorauszusagen, wie ihn dahin gerichtete Versuche denn auch ausnahmslos ergeben haben.

Das relativ sehr schnelle Abklingen des Effektes der Bearbeitung, die ja nur die Struktur des Bodens ändert, ohne seine Textur wesentlich anzutasten, weist aber darauf hin, daß Tiefkultur allein ohne Änderung der individuellen Eigenschaften der Böden hinsichtlich ihres Wasserhaushaltes, die mit einer Änderung der kolloidchemischen Eigenschaften und des Salzgehaltes der Böden identisch ist, unmöglich eine rentable Maßnahme in der Gezira sein kann, weil es ausgeschlossen ist, rationell die Tiefkultur alljährlich zu wiederholen. Fast vom ersten Tage an haben Versuche mit chemischen Meliorationsmitteln daher im Forschungsprogramm der Gezirainstitute eine große Rolle gespielt.

Was die Einzeldaten der verschiedenen Bodenuntersuchungen betrifft, so sind unmittelbar vergleichbar miteinander als sogenannte Höhenböden im engeren Sinne die Profile 8/13 und 28/33, von denen das erstere Mischprofil den Typus des guten, das letztere Einzelprofil den Typus des mittelmäßigen Badob der Gezira vertritt.

Wie die Wasserbilanz zeigt, ist bezüglich des Wasserhaushaltes das weniger gute Profil 28/33 rund 10 % schlechter als das gute

Tabelle 24. Wasserbilanz der Geziraprofile.

Bodentiefe	Minimales Porenvolumen			Mögliches Wasser						Statisch verfügbares Wasser						Dynamisch verfügbares Wasser ohne Einrechng. d. Verdunst. cbm			cbm effektiv verfügbares Wasser nach Abzug der Verdunstung		
	Höhenboden I	Höhenboden II	Senkenboden	Höhenboden I		Höhenboden II		Senkenboden		Höhenboden I		Höhenboden II		Senkenboden		Höhenboden I	Höhenboden II	Senkenboden	Höhenboden I	Höhenboden II	Senkenboden
				W. %	M. W. (pro Schicht)	W. %	M. W. (pro Schicht)	W. %	M. W. (pro Schicht)	St.	St. W. (pro Schicht)	St.	St. W. (pro Schicht)	St.	St. W. (pro Schicht)						
0— 30 cm	18,3	14,9	18,4	46,8	1656	45,3	1631	45,3	1631	23,3	824	22,9	824	23,2	835	618	511	835	310	251	435
30— 60 „	15,5	17,4	21,0	39,5	1529	37,9	1498	37,9	1498	13,2	511	12,8	506	14,3	565	116	134	203	93	106	167
60— 90 „	23,7	21,8	22,7	34,8	1434	28,3	1281	36,4	1468	6,6	272	2,9	131	11,9	480	53	97	54	41	53	48
90—120 „	17,6	19,5	25,0	21,8	1094	22,7	1122	29,5	1311	—	—	—	—	4,7	209	—	—	31	—	—	(31)
120—150 „	18,6	20,4	22,2	19,1	1004	20,7	1058	22,7	1122	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
150—180 „	21,9	20,4	20,8	21,9	1097	20,4	1048	20,8	1061	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Summe der cbm pro Profil:					7854		7638		8091		1627		1461		2089	787	642	1123	444	410	681

Profil 8/13 gestellt. Es hieße aber diesen Unterschied weit überschätzen, wenn man die rund 30% betragenden Erntedifferenzen der Bodentypen allein aus diesen Differenzen des Wasserhaushaltes erklären wollte, selbst unter Berücksichtigung des Umstandes, daß sich diese Unterschiede bei unzureichender Wasserzufuhr verschärfen müssen.

Zur besonderen Vorsicht in dieser Hinsicht mahnt die Tatsache, daß der Senkenboden (Mischprofil 14/19) hinsichtlich der Wasserbilanz am günstigsten gestellt ist, während er gleichzeitig produktiv den geringsten Wert von allen Profilen besitzt. Es müssen also außer dem Wasserhaushalt, soweit er bisher betrachtet ist, noch andere Momente als wichtig für die produktiven Eigenschaften in Frage kommen.

Bezüglich der Badobprofile besteht nun in der Tat sogar ein sehr scharfer Unterschied physikalischer Natur, der die weit geringere Produktivität des Höhenbodens G 28—33 ohne weiteres verständlich macht.

Ein Blick auf Diagramm Abb. 21 zeigt im Anschluß an die Ziffern von Tabelle 20 ganz schlagende Unterschiede im Koagulationszustande der tieferen Profillagen der beiden Böden.

Während sich im guten Profil an die Wurzelzone zunächst wenig koagulierte Schichten anschließen, die bei geringer kritischer Schichtdicke dem Einsickern des Wassers über die Wurzelzone hinaus einen kaum überwindlichen Widerstand entgegensetzen, ist genau das Umgekehrte bei dem Wad-Medani-Profil der Fall. Schon in 90 cm Tiefe ist die Tonsubstanz fast gänzlich, unmittelbar darunter gänzlich koaguliert. Gleichzeitig schnellt die kritische Schichtdicke von 4 in der Wurzelzone auf 40—71 im tieferen Untergrunde in die Höhe, was nach den obigen Ausführungen gleichbedeutend ist mit einem starken Abzuge von Wasser nach unten.

Aus Profil 28/33 müssen also durch zu starke Drainierung sehr große Wasserverluste nach unten eintreten.

Für den Vergleich des Senkenbodens mit den Badobböden kommt dieser Gesichtspunkt nicht in Frage. Hier kann von Wasserverlusten nach unten, wie Diagramm und Zahlen zeigen, keine Rede sein. Die Wasserbilanz ist wesentlich günstiger als bei den Badobböden, die in dieser Hinsicht mögliche Wurzeltiefe ist größer. Die geringere Produktivität bedingenden Momente sind also auch physikalisch in anderer Richtung zu suchen, unter Vorbehalt etwaiger chemischer schädlicher Momente.

Die typisch auf Luftmangel weisende graue Reduktionsfarbe des ganzen Profils, wie sie in Tabelle 18 charakterisiert ist, gilt praktisch in der Gezira als das Zeichen unproduktiver Geländeteile im Gegensatz zur braunen Oxydationsfarbe der guten Badobböden, die ein sicheres Indizium guter Durchlüftung ist.

Physikalisch dürfte also bei den Senkenböden, die bei Irrigation, der minimalen kritischen Schichtdicke und damit Undurchlässigkeit schon den flachen Untergrundschichten entsprechend, oberflächlich durch Stau und Auftrieb verschlammen müssen, weil das Wasser sehr langsam einsickert, mangelhafter Lufthaushalt des nahen Untergrundes ein Grund des Versagens sein.

Daß neben physikalischen auch chemische Momente als Ursache der praktischen Unterschiede der Profile in Frage kommen, lehrt die Tabelle 21 und 22.

Hinsichtlich der Bodenreaktion ist mit p_H-Zahlen kleiner als 9 in den Wurzelschichten das beste Profil 8/13 am günstigsten gestellt. Daß das mit den vorhandenen Karbonatmengen in löslicher Form zusammenhängt, zeigen die Einzelziffern von Tabelle 21. Mit Recht ist die stärker alkalische Reaktion der beiden anderen Profile für deren geringere Produktivität mit verantwortlich zu machen. Der Gehalt an gesamter löslicher Base ist, wenn man die beiden Höhenböden vergleicht, im schlechteren Profil 28/33 sehr wesentlich höher als im besseren. Dagegen hat das Senkenprofil 14/19 im ganzen einen sehr viel geringeren Salzgehalt als die beiden anderen Profile.

Im guten Profil herrscht in der Bodenlösung ein weites, im Senkenprofil ein mittleres, im schlechten Profil ein enges Ca/Na-Verhältnis in der Bodenlösung (Tabelle 22).

Besonders instruktiv in dieser Richtung sind die graphischen Darstellungen der prozentischen Zusammensetzung der Lösungen und Komplexbelegungen der Böden aus den einzelnen Basen in Diagramm Abb. 24. Nimmt man als maßgebend für die Profildichte den prozentischen Gehalt der Bodenlösungen und Bodenkomplexe an Na an, so ist die Rangordnung der Böden ohne weiteres gegeben. Bei weitem am günstigsten steht das gute Höhenbodenprofil G 8/13 da, in dem sowohl in der Lösung wie im Komplex in der Wurzelzone das Na zugunsten des Ca stark zurücktritt.

Das Profil steht etwa in der Mitte zwischen dem Rekordprofil G 44/47 und dem schlechten Profil G 41/43. Die theoretische Forderung, daß dann auch die Erträge sich auf der mittleren Linie bewegen müssen, ist in vollem Umfange bestätigt.

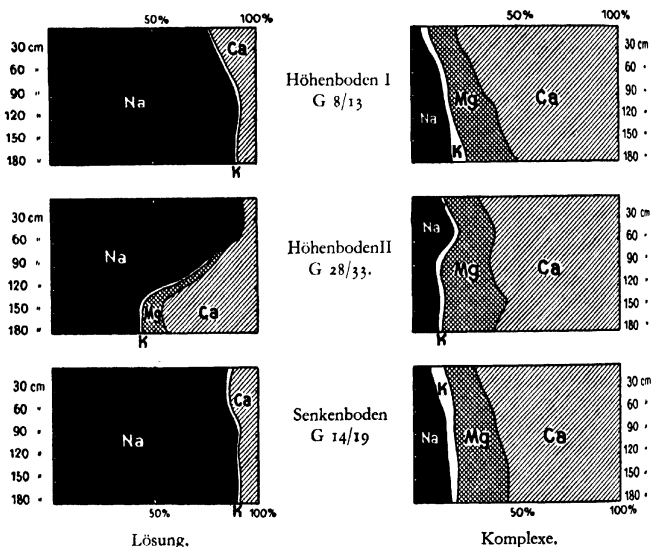


Abb. 24. Prozentischer Basenanteil an der Gesamtmenge in den Profilen G 8/13, G 28/33, G 14/19. — Percentage of different bases in total content of bases in the soil profiles G 8/13, G 28/33, G 14/19.
Left: in soil solution. — Right: in colloidal complex.

Das Höhenprofil II ist in seinem Komplexbau günstiger gestaltet als das schlechte Ed Dueim-Profil, dafür aber bezüglich der Bodenlösung in den Oberflächenschichten und dem oberen Teil der Hauptwurzelzone wesentlich schlechter. Sein Ernteertrag liegt beträchtlich unterhalb dem des schlechten Ed Dueim-Profiles.

Der Senkenboden rangiert nach seinem Lösungs- und Komplexbau zwischen den beiden Höhenböden.

Der Gehalt der Profile an Kohlenstoff ist in seiner ganzen Tiefenerstreckung gleichmäßig gering. Das C/N-Verhältnis ist namentlich bei den viel Kohle enthaltenden Roterden sehr weit, der N-Gehalt entsprechend sehr gering. Beim guten Höhenprofil I ist er in Übereinstimmung mit Befunden im Sudan etwas höher als im Höhenprofil II, merklich mehr N enthält der Senkenboden, ohne jedoch etwa stickstoffreich oder auch nur annähernd ausreichend mit Stickstoff versorgt zu sein.

Man ist wohl berechtigt, die Stickstoff- und weitergehend Humusarmut der Geziraböden als einen der Hauptgründe für die gute Nachwirkung der Leguminosen als Vorfrucht der Baumwolle zu betrachten, da diese in ihren Resten den Boden sowohl an Stickstoff wie an Humus anreichern.

Die Böden der Gezira sind arm an verfügbarem Kali, und zwar in einem Grade, daß dieser Mangel mit Sicherheit als einer der Gründe des Rückganges der Ernten auf älteren Feldern zu betrachten ist, obwohl die absoluten Kaligehalte erheblich sind. Trotz dieser Armut an verfügbarem Kali bleiben aber die bisher verwendeten Düngergaben ohne Wirkung, weil das zugeführte Kali sofort in einem solchen Maße vom Boden festgelegt wird, daß für die Pflanzen nichts übrigbleibt, so daß die Düngungsversuche ein geringes oder gar kein Resultat ergeben mußten.

Die Kali- und Magnesiabilanz der untersuchten Geziraböden ist in Tabelle 25 wiedergegeben.

Bei sämtlichen Böden und Bodenschichten ist dem geringen Gehalt an Mineralien entsprechend die Kalilieferung aus dieser Quelle völlig ohne praktischen Wert.

Infolge der durchschnittlich sehr festen Bindung des Kalis an die Komplexe ist auch der aus diesen stammende verfügbare Kalianteil relativ gering. Er beträgt im Durchschnitt nur 0,22 Kiloäquivalent pro Hektar, reicht also, wenn man die JOSEPHsche Zahl von 0,5 Kiloäquivalent K als nötig zur Produktion von 100 kg Lint zugrunde legt, noch knapp zur Erzeugung von 50 kg Lint pro Hektar aus.

Eigenartig verschiedene Verhältnisse zeigt das lösliche Bodenkali, auf welches die Pflanzen in erster Linie zur Deckung ihres Bedarfes angewiesen sind, in den drei Profilen.

Tabelle 25.

Kali- und Magnesiabilanz der Geziraprofile (Kiloäquivalent/ha).

Boden	Schicht	Anzurechnende Schichtdicke cm	G_{tr}[1] t	Verfügbares Kalium je ha und Saison: aus Lösung	aus Komplex	aus Mineral	Summe	Verfügbares Magnesium je ha und Saison: aus Lösung	aus Komplex	Summe
Höhenboden I	0—30	22,0	113	0,50		?	(0,57)	—		(0,97)
	30—60	6,8	130	0,18	0,21	0,01	(0,26)	—	2,9	(0,97)
	60—90	5,8	136	0,16		0,01	(0,24)	—		(0,97)
Summe				0,84	0,21	0,02	1,07	—	2,9	2,9
Höhenboden II	0—30	18,6	119	0,22		?	(0,28)	—		(1,07)
	30—60	8,0	130	0,10	0,18	?	(0,16)	—	3,2	(1,07)
	60—90	22,0	149	1,28		?	(1,34)	11,8		(12,87)
Summe				1,60	0,18	?	1,78	11,8	3,2	15,0
Senkenboden	0—30	30,0	119	2,14		0,01	(2,22)	—		(0,95)
	30—60	10,8	130	0,42	0,27	?	(0,49)	—	3,8	(0,95)
	60—90	3,4	133	0,09		0,01	(0,17)	—		(0,95)
	90—120	4,4	146	0,07		0,02	(0,16)	—		(0,95)
Summe				2,72	0,27	0,04	3,04	—	3,8	3,8

In dem Höhenboden I und im Senkenboden nimmt es, wie es sich bei der Mehrzahl der ariden Böden als Regel zeigt, mit zunehmender Tiefe ab.

Seine Menge im Höhenboden I ist gering. Sie würde bei der Annahme eines Bedarfes von 0,5 Kiloäquivalent je 100 kg Lint noch nicht zur Produktion von 200 kg Lint je Hektar ausreichen. Diese Ziffer ist aber, am Totalbedarf nach sonstigen Analysen: 0,35 Kiloäquivalent K pro 100 kg Lint gemessen, sehr hoch. Legt man 0,35 Kiloäquivalent zugrunde, so reicht im Höhenprofil I

das lösliche K für	240 kg/ha
„ Komplex-K für	60 „
„ Mineral-K für	6 „
das total verfügbare K also für	306 kg/ha aus.

Die tatsächliche Ernte dieser Böden bewegt sich nach mehrjähriger Nutzung durchaus in dieser Größenordnung, und da sie physikalisch

[1]) G_{tr} = Gewicht von 1 cm dicker Schicht trocken in Tonnen je Hektar.

und chemisch sonst günstig sind, liegt die Wahrscheinlichkeit, daß bei ihnen bereits eintretender Kalimangel nach Verbrauch der in Jahrtausenden aufgespeicherten löslichen Kalivorräte einer der die Erntehöhe begrenzenden Faktoren ist, nahe.

Der wenig produktive Senkenboden hat mit 3,04 Kiloäquivalent zwar keinen Kaliüberfluß, aber ebenso sicher keinen Kalimangel. Sein relativer Reichtum erklärt sich aus geringem Verbrauch durch niedrige Ernten, die aus physikalischen Gründen das Bodenkali nicht ausnutzen konnten. Bemerkenswert ist bei sehr armem Untergrunde die starke Anhäufung des Kalis in der oberflächlichen Schicht.

Sehr eigenartige Verhältnisse weist der Höhenboden II auf, dessen Produktivität nach den gemachten Mitteilungen rund 30% unter der des Höhenbodens I liegt. Hier sind die obersten beiden Schichten an löslichem Kali relativ sehr arm, dafür aber die dritte Lage 60—90 cm auffallend reich.

Faßt man alle Daten zusammen, so kommt auf allen Profilen jedenfalls nach den Analysendaten Kalimangel als ein die Erntehöhe beschränkender Faktor in Frage, und zwar in erster Linie Mangel an löslichem Kali als Erschöpfungserscheinung der reservearmen Böden.

Diesem Schlusse scheinen nun die Düngungserfahrungen in der Gezira zu widersprechen. Trotzdem ist die Auffassung, daß Kalidüngung in der Gezira zu vernachlässigen sei, falsch. Die verabfolgte Düngung konnte nämlich, nach dem chemischen Bau der Böden zu schließen, gar keinen Effekt zeigen, denn die Geziraböden legen ganz außerordentliche Kalimengen fest, ehe etwas überhaupt in Lösung und damit schnell wirksam bleibt. Erst wesentlich höhere, lange fortgesetzte Gaben können, wenn gleichzeitig die Wasserhaushaltung verbessert, insbesondere das dynamische, nach Abzug der Verdunstung verfügbare Wasser vermehrt wird, zu einem greifbaren Erfolge führen.

Überblickt man die Böden der Gezira in ihrer Gesamtheit, so zeigen die ausnahmslos um 0,7 herum liegenden q_S-Werte, daß sie sämtlich ganz ausgesprochen zum Typus der kaliinaktiven Böden gehören.

Nimmt man S mit durchschnittlich 55 Milliäquivalent, q mit 0,7, das Volumgewicht mit 1,3 an, so ist für 30 cm Krumentiefe

$$m = 1{,}3 \cdot 30 = 39 \text{ t/ha}.$$

Nach Formel (17), S. 74, wird:

$$F = D = m \cdot S \cdot (1 - q_S)$$
$$= 39 \cdot 0{,}055\ (1 - 0{,}7) = 0{,}64 \text{ t-Äquivalent K}$$
$$= \text{ca. } 71 \text{ t } K_2SO_4 \text{ je Hektar.}$$

Würde gegebenes Kaliumsulfat nicht untergebracht und hätte es Zeit, sich Zentimeter für Zentimeter mit dem Boden ins Gleichgewicht zu setzen, so würden je 100 kg K_2SO_4 jeweils von nur rund 0,5 mm Bodenschicht restlos festgelegt werden.

Da Unterbringung und Irrigationswasser für eine gewisse Verteilung vor Einstellung des Gleichgewichtes sorgen, können alle normalen Kaligaben für Jahre hinaus die ganze Krume bis zur Pflugtiefe in ihren Komplexen zwar etwas anreichern, müssen aber notwendigerweise fast ohne praktische Auswirkung bleiben. Selbst ganz abnorm hohe Kaligaben von Tonnen pro Hektar können noch keine nennenswerte Nährstoffwirkung entfalten, sondern müssen in wenigen Dezimetern Tiefe festgelegt werden, ohne dabei den wichtigen Bestand des Bodens an wasserlöslichem Kali irgendwie nennenswert zu erhöhen, wenn auch die Nutzbarkeit des angereicherten Komplexkalis dabei erheblich steigt.

Die Aufgabe der etwa angewandten Kalidüngung ist unter den gegebenen Verhältnissen in der Gezira, soweit es um Kali als Pflanzennährstoff geht, also nicht sowohl die direkte Versorgung der Pflanzen als die indirekte durch die Anreicherung der Komplexe, als Vorbedingung dafür, daß das Kali aus diesen in ausreichendem Maße zur Wirkung gelangt.

Dieses indirekte Wirksamwerden des Kalis, und zwar sowohl des Bodenkalis wie des Düngekalis durch die Komplexe kann geschehen, weil die Erhöhung der Kalisättigung die Vorbedingung für das Sinken des q-Wertes, d. h. die Erleichterung der Abspaltung von Kali aus den Komplexen durch die Tätigkeit der Pflanzen ist.

Zur Untersuchung lagen auf dem Versuchsfelde Wad-Medani ein Düngungs- und ein Meliorationsversuch vor (Tabellen 26—30).

Die nähere Beschreibung ist in Tabelle 26 enthalten. Die Tabelle 28 enthält die chemischen Einzeldaten. Die Kalibilanz der beiden Versuche stellt sich, wenn man das durch die Irrigation zugeführte Kali als durch die Entnahme durch die Ernten einigermaßen kompensiert

Tabelle 26. Bodenbeschreibung (Gezirah Research Farm, Versuchsfelder).

Zeichen und Nummer der Probe	Land	Provinz	Ort	Tiefe des Musters cm	Inländischer Name der Bodenart	Farbe	Verhalten des Bodens beim Trocknen	Bemerkungen über den Bau des Profils und Grundwasserstand	Bemerkungen über Ertragsklasse, Fruchtfolge, Düngung, evtl. über natürliche Vegetation
G 25	Sudan	Blue Nile	Gezirah Research Farm Plot 26/27	0—30	Badob	braun	bröcklig	Vergleiche Profil 28—33	Düngungsversuch, ungedüngt: sehr schlechte Baumwolle
G 25 U	,,	,,		30—60	,,	,,			
G 26	,,	,,	Plot 26/27	0—30	,,	,,	,,		Sehr mäßig! 1927/28: 200 lbs S. A. 150 lbs K_2SO_4; 300 lbs S. P. per acre Sehr mäßig! 1930/31: 200 lbs S. A.; 150 lbs K_2SO_4; 300 lbs S. P. per acre Sehr mäßig!
G 26 U	,,	,,		30—60	,,	,,			
G 27	,,	,,	Plot 26/27	0—30	,,	,,	,,		Sehr mäßig wie G 26, aber ohne Kali
G 27 U	,,	,,		30—60	,,	,,			
G 34	,,	,,	Plot 52	0—30	,,	,, dunkelbraun	krümlig		5 t K_2SO_4 pro ha
G 34 U	,,	,,		30—60	,,				
G 35	,,	,,	Plot 52	0—30	,,	,,	krümlig	Profilbau benachbarter Bohrlöcher von G 38 14° 25/33° 07: 52—58 Ton. Höchste Salzkonz. 0,64% bei 90 cm Tiefe 14° 23/33° 08: 42—57 Ton. Höchste Salzkonz. 0,68% bei 75 cm Tiefe 14° 25/33° 09: 47—62 Ton. Höchste Salzkonz. 0,41% bei 90 cm Tiefe Grundwasser sehr tief!	5 t $CaSO_4$ pro ha
G 35 U	,,	,,		30—60	,,	,,			
G 36	,,	,,	Plot 52	0—30	,,	,,	bröcklig		4,5 t Na_2SO_4 pro ha — Meliorationsversuch
G 36 U	,,	,,		30—60	,,	,,			
G 38	,,	,,	Plot 52	0—30	,,	,,	krümlig		30 t $CaSO_4$ pro ha
G 38 U	,,	,,		30—60	,,	,,			
G 37	,,	,,	Plot 52	0—30	,,	,,	bröcklig		Unbehandelt s. Nr. G 28
G 37 U	,,	,,		30—60	,,	,,			

Tabelle 27. Physikalische Untersuchung des Bodens.

Zeichen und Nummer der Probe	In % Trockensubstanz Mechanische Zusammensetzung								Strukturfaktor	Hygroskopisches Wasser	Minimale Wasserkapazität	Totes Wasser für		Kritische Schicht	Steighöhe				Bei Ausgang von			
	Grobsand I	Feinsand I	Schluff I	Ton I	Grobsand II	Feinsand II	Schluff II	Ton II				Mais / Baumwolle / Weizen	% Bersim	cm	nach 5 Stunden	nach 25 Stunden	Total	1000 × *b*	% feste Teile	% Wasser	% Luft	% Lineare Schrumpf.
G 25	7,2	25,9	13,8	53,1	8,0	25,5	40,5	26,0	50	13,2	56,9	22,1 %	25,6	6,0	19	47	74	191	41	54	5	15,5
G 25 U	10,4	14,0	16,0	59,6	11,4	17,0	33,0	38,6	35	12,8	60,3	21,9	25,7	1,5	5	11	16	682	40	55	5	17,0
G 26	7,7	23,1	8,0	61,2	7,7	26,1	40,8	25,4	59	12,4	51,1	20,9	24,3	22,2	60	154	250	64	40	50	10	15,0
G 26 U	10,1	15,1	15,8	59,0	10,8	16,2	36,5	36,5	38	13,9	58,3	23,9	27,8	1,7	8	17	24	414	38	55	7	16,5
G 27	7,5	25,4	9,1	58,0	8,3	28,3	41,2	22,2	62	12,6	51,2	21,1	24,4	11,3	35	85	132	105	43	55	2	14,0
G 27 U	6,7	14,6	16,7	62,0	7,2	17,4	40,7	34,7	44	14,1	63,2	23,7	27,5	1,6	7	15	24	625	39	58	3	17,0
G 34	6,3	20,6	12,3	60,8	8,1	24,2	43,0	24,7	60	12,0	47,9	20,1	23,4	34,2	68	200	385	61	44	54	2	14,5
G 34 U	8,4	12,1	16,4	63,1	9,0	21,8	39,3	29,9	53	13,1	49,8	22,9	26,9	11,3	47	95	128	68	44	55	1	15,0
G 35	7,3	20,2	12,0	60,5	7,6	24,5	32,7	35,2	42	12,8	51,8	21,6	25,3	22,1	78	172	244	44	41	57	2	16,0
G 35 U	6,7	13,7	16,0	63,6	7,1	17,5	32,4	43,0	32	14,6	62,3	24,6	28,7	1,9	9	19	26	365	39	60	1	18,0
G 36	7,3	20,5	11,2	61,0	7,1	36,1	31,8	25,0	60	13,2	49,4	24,9	29,7	12,5	60	110	139	48	41	53	6	15,0
G 36 U	7,1	13,5	15,0	64,4	7,8	19,3	36,1	36,8	43	14,1	56,3	24,4	28,6	3,8	20	36	45	139	40	54	6	17,0
G 38	7,7	20,3	14,2	57,8	6,6	52,4	36,8	4,2	93	12,4	47,4	21,3	24,9	21,4	55	145	244	71	41	53	6	15,0
G 38 U	6,1	12,2	17,6	64,1	6,8	21,7	36,7	34,8	46	14,2	44,6	25,2	29,7	5,8	25	51	69	128	45	52	3	15,0
G 37	8,4	18,0	11,4	62,2	8,6	26,4	35,0	30,0	52	13,8	56,4	25,0	29,6	8,7	32	71	102	106	41	50	9	16,0
G 37 U	6,2	12,9	16,7	64,2	7,0	16,2	33,2	43,6	32	14,4	64,4	24,3	28,4	1,3	5	13	22	770	40	55	5	17,5

betrachtet und die minimalen K-Mengen aus den Mineralien außer Ansatz läßt, soweit es sich um die untersuchten Lagen 0—30 und 30—60 cm handelt, wie in Tabelle 29 angegeben.

Die Zahlen belegen die oben aufgestellten Schlußfolgerungen für beide Versuchsgruppen, deren Böden eine nicht unwesentliche Verschiedenheit aufzuweisen haben.

Aus dem Charakter der Böden als inaktive Böden war gefolgert, daß eine Düngung den Totalgehalt an wasserlöslichem Kali auf keinen Fall erhöhen kann. Tatsächlich findet sich in beiden Gruppen nicht nur keine Zunahme — im Meliorationsversuch selbst nicht trotz einer ungeheuren Gabe von 5 t K_2SO_4 je Hektar! —, sondern sogar eine Abnahme. Es war weiter gefolgert, daß das gesamte in der Düngung gegebene Kali, wenn man das durch die Irri-

gation zugeführte Kali als durch die Ernteaufnahme kompensiert betrachtet, sich in den Komplexen befinden muß, und zwar, wie hier noch hinzugefügt sei, um so mehr im Untergrunde, je länger die Düngung zurückliegt, also zur Verteilung Zeit gehabt hat.

Bei dem Düngungsversuch findet sich, da die erste Kaligabe 4 Jahre zurückliegt, folgerichtig die größte Kalianreicherung gegenüber dem ungedüngten Felde im Untergrunde, aber auch der Obergrund ist nicht unbeträchtlich angereichert (Tabelle 29). Die Totalmenge des Kalizuwachses ist sogar höher als die gegebene Düngung, bewegt sich jedoch durchaus in der zu fordernden Größenordnung.

Daß es sich dabei nicht um einen Zufall, der durch Bodenverschiedenheiten vorgetäuscht sein könnte, handelt, beweist das Ergebnis der

Tabelle 28. Chemische Untersuchung des Bodens (Analysendaten).

Zeichen und Nummer der Probe	p_H		C	N	C/N	P_2O_5		Zusammensetzung der löslichen Salze in Milliäquivalent					Zusammensetzung der Komplexsättigung in Milliäquivalent												V	K nach NEUBAUER in Milliäquivalent
	in Wasser	in n-KCl	%	%		Total %	nach NEUBAUER mg	Karbonat	Na	K	Mg/2	Ca/2	H	Na	q_{Na}	K	q_K	Mg/2	q_{Mg}	Ca/2	q_{Ca}	S	q_S	T	%	
G 25	8,0	7,8	0,79	0,03	26	0,07	0,7	0,33	1,61	0,01	—	0,16	0,73	6,55	4,0	1,74	114,9	6,71	5,52	35,25	1,02	50,25	0,74	50,98	99	0,71
G 25 U	9,0	7,6	0,83	0,02	41	0,032	—	0,50	1,93	—	—	0,16	0,94	9,77	1,30	1,40	156,0	6,64	4,16	30,97	0,99	48,78	0,58	49,72	98	
G 26	9,0	7,8	0,79	0,03	26	0,05	1,9	0,30	1,62	0,005	—	0,20	0,69	4,96	4,7	1,70	126,5	6,71	5,42	36,63	1,01	50,00	0,76	50,69	99	0,66
G 26 U	9,0	7,0	0,86	0,02	43	0,063	—	0,50	2,11	—	—	0,14	0,92	10,31	1,46	1,54	173,1	6,66	4,22	30,99	1,12	49,50	0,64	50,42	98	
G 27	9,0	7,8	0,81	0,03	27	0,10	2,3	0,33	1,59	0,01	—	0,19	0,72	5,33	4,9	1,91	120,1	6,76	5,04	35,02	0,93	49,02	0,72	49,74	99	0,71
G 27 U	9,0	7,0	0,91	0,02	45	0,061	—	0,40	1,76	Spur	—	0,14	0,87	9,38	1,10	1,23	136,3	6,71	3,74	34,76	1,21	52,08	0,66	52,95	98	
G 34	8,6	7,6	0,74	0,02	37	0,04	0,5	0,25	1,45	0,03	—	0,25	0,51	3,24	6,0	2,34	54,3	5,62	2,98	36,65	1,13	47,85	0,82	48,36	99	1,09
G 34 U	9,0	7,0	0,78	0,02	39	0,072	—	0,35	2,31	Spur	—	0,28	0,83	5,68	1,96	1,75	118,3	8,33	3,90	34,74	1,00	50,50	0,66	51,33	98	
G 35	9,0	7,6	0,82	0,015	55	0,107	?	0,30	1,73	0,01	—	0,20	0,66	5,30	1,3	1,12	74,7	5,95	5,96	37,88	1,12	50,25	0,74	50,91	99	1,03
G 35 U	9,0	7,6	0,86	0,02	43	0,064	—	0,42	1,97	—	?	0,13	0,92	10,19	1,28	1,48	124,9	6,97	4,92	33,99	1,18	52,63	0,66	53,55	98	
G 36	9,6	7,6	0,84	0,01	84	0,085	0,8	0,32	3,62	0,02	—	0,40	0,58	7,49	2,6	1,08	71,5	6,10	7,00	35,58	1,11	50,25	0,74	50,83	99	0,91
G 36 U	9,0	7,0	0,81	0,02	40	0,078	—	0,45	2,31	—	—	0,18	0,91	8,18	0,34	1,34	114,2	6,65	3,32	36,46	1,24	52,63	0,66	53,54	98	
G 38	9,0	7,0	0,87	0,01	87	0,034	1,6	0,27	1,92	0,01	—	1,53	0,53	2,45	11,0	1,40	104,0	6,17	5,82	39,98	0,86	50,00	0,72	50,53	99	0,96
G 38 U	9,0	7,6	0,76	0,02	38	0,061	—	0,45	2,80	Spur	—	0,24	0,97	8,07	1,24	1,12	102,9	7,63	4,52	36,37	1,17	53,19	0,68	54,16	98	
G 37	9,6	7,6	0,79	0,015	53	0,050	0,9	0,39	3,01	0,04	—	0,19	0,75	7,94	1,9	1,40	110,5	5,68	4,58	37,06	1,26	52,08	0,74	52,83	99	0,86
G 37 U	9,0	7,6	0,73	0,02	36	0,070	—	0,50	1,93	Spur	—	0,14	1,00	9,16	0,90	1,28	110,7	8,13	4,50	34,62	1,21	53,19	0,56	54,19	98	

Tabelle 29. Kalibilanz der Versuchsböden Wad Medani.

Düngungsversuch.

Bodenbezeichnung	Schicht cm	Anzurechn. Schichtdicke cm	G_{tr} t	Verfügbares Kali aus Lösung	Verfügbares Kali aus Komplex		Totalgehalt von 30 cm in Lösung und Komplex	Durch Düngung zugeführt	Δ gegen ungedüngt
G 25 ohne Düngung	0—30	12,0	113	0,14	0,19	0,16	0,34 + 59,1 = 59,44	—	—
	30—60	3,0	130	—	0,14		— + 54,6 = 54,6	—	—
					0,30		114,04	—	—
G 27 Volldüngung ohne K	0—30	22,6	119	0,27	0,19	0,17	0,36 + 68,1 = 68,46	—	—
	30—60	3,2	124	?	0,16		— + 45,9 = 45,9	—	—
					0,44		114,36	—	+ 0,32
G 26 Volldüngung mit K (2·)	0—30	30,0	119	0,18	0,18	0,16	0,18 + 60,7 = 60,88		+ 1,44
	30—60	3,4	128	—	0,13		— + 59,1 = 59,10		+ 4,50
					0,34		119,98	4,0	+ 5,94

Meliorationsversuch.

Bodenbezeichnung	Schicht cm	Anzurechn. Schichtdicke cm	G_{tr} t	Verfügbares Kali aus Lösung	Verfügbares Kali aus Komplex		Totalgehalt von 30 cm in Lösung und Komplex	Durch Düngung zugeführt	Δ gegen ungedüngt
G 37 unbehandelt	0—30	17,4	114	0,79	0,19	0,19	1,37 + 48,0 = 49,37	—	—
	30—60	2,6	127	?	0,19		— + 48,6 = 48,6		
					0,98		97,87	—	—
G 34 5 t K_2SO_4	0—30	30,0	124	1,12	0,38	0,28	1,12 + 87,0 = 88,12		38,75
	30—60	22,6	140	—	0,19		— + 73,5 = 73,50		24,90
					1,40		161,62	55,0	63,65

Untersuchungen des Meliorationsversuches, bei dem die jedes Zufallsmaß völlig überschreitende enorme Düngung von 5 t K_2SO_4, also 55 Kiloäquivalent K je Hektar in einer Gabe verabfolgt war, ohne daß die Pflanzen gelitten hatten, was allein schon auf die schnelle Festlegung des Kalis hinweist.

Auch hier findet sich die gesamte Düngung in den obersten 60 cm des Bodens wieder, genau wie es nach den obigen Ausführungen als notwendige Folge der Bodeneigenschaften zu erwarten war.

Das verfügbare Kali ist bei dem Düngungsversuch nur unwesentlich durch die Düngung verändert, soweit es sich um Anteile aus der Bodenlösung handelt. Erheblich ist die Änderung in dieser Richtung bei

dem Meliorationsversuch. Sie liegt aber keineswegs etwa in der Erhöhung der Menge des löslichen Kalis als solchem, sondern nur in der Vermehrung der kritischen Schichtdicke als Nebenwirkung der Kalidüngung, auf die sofort im einzelnen zurückzukommen sein wird.

Das Komplexkali ist bei dem Düngungsversuch entsprechend der minimalen Erhöhung seines prozentischen Anteils an den Komplexen durch die schwache Düngung gar nicht in seiner Verfügbarkeit beeinflußt. Dafür hat sich bei dem Meliorationsversuch in der besonders stark angereicherten Oberkrume entsprechend dem Sinken des q_K-Wertes von 110,5 beim unbehandelten, auf 54,3 beim behandelten Boden, die Löslichkeit des Komplexkalis verdoppelt.

Daß, lediglich als Düngung betrachtet, Kaligaben von 5 t K_2SO_4 je Hektar, die eben erst eine deutliche Wirkung zu zeigen beginnen, außerhalb jeder Diskussion stehen, liegt auf der Hand. Dagegen verdient Beachtung der Umstand, daß Kali auf schweren alkalischen Böden mit Na-Ton eine außerordentlich starke Meliorationswirkung durch wesentliche Verbesserung des Wasserhaushaltes der Böden entfaltete, die weit über die vielfach stärkeren Gipsgaben hinausgeht.

Die Wasserbilanz des Bodens gibt Tabelle 30 wieder.

Die langsame Wirkung in die Tiefe als Folge der schweren Löslichkeit des Gipses und der starken Anlagerungsfähigkeit des Ca-Ions war der Anlaß, in die Meliorationsversuche noch andere Kationen mit leichtlöslichen Salzen einzubeziehen. Infolge seiner sehr geringen Hydratation von nur 14—16 Mol H_2O pro Milliäquivalent, der großen Haftfestigkeit im Komplex, die eine nachhaltige Wirkung zu sichern schien, und seiner begleitenden Nährstoffwirkung hatte JOSEPH dabei in erster Linie an Kalium gedacht, das daher als K_2SO_4 in den Meliorationsversuch II einbezogen wurde.

Verwendet wurde, um sofort große Ausschläge bei der Bodensubstanz zu erhalten, je Hektar 5 t K_2SO_4. Wie die Tabelle 29 lehrt, übertrifft der Erfolg der K_2SO_4-Anwendung alle Erwartung, soweit es die Veränderung der Bodensubstanz und die Verbesserung des Wasserhaushaltes angeht. Sie wirkt sich praktisch aus in einer 120proz. Verbesserung des Wasserhaushaltes des so behandelten Bodens, in dem sich das verfügbare Wasser von 280 cbm auf 628 cbm erhöht hat.

Tabelle 30. Die Wasserbilanz der Böden des Meliorationsversuches und des Düngungsversuches Wad Medani.

Boden Nr.	Schicht cm	Behandelt	Minimum Porenvolumen	Mögliches Wasser			Statisch verfügbares Wasser			Dynam. verfügbar. Wasser ohne Einrechnung der Verdunstung		Effektiv verfügbar. Wasser mit Einrechnung der Verdunstung	
				W %	M W cbm pro Schicht	Summe	St %	St W cbm pro Schicht	Summe	cbm pro Schicht	Summe	cbm pro Schicht	Summe
		Melorationsversuch											
G 37	0—30	Unbehandelt	17,6	49,0	1689	3222	24,0	827	1422	480	531	237	280
	30—60		16,0	39,7	1533		15,4	595		51		43	
G 35	0—30	5 ts Gips / ha	17,6	45,3	1632	3150	23,7	854	1412	854	925	434	492
	30—60		16,4	38,9	1518		14,3	558		71		58	
G 38	0—30	30 ts Gips	19,6	42,1	1575	2877	20,8	778	956	778	846	358	388
	30—60		14,5	29,2	1302		4,0	178		68		30	
G 34	0—30	5 ts K_2SO_4	16,6	41,9	1572	2952	21,8	818	1223	818	1123	398	628
	30—60		15,7	32,4	1380		9,5	405		305		230	
G 36	0—30	4,65 ts Na_2SO_4	19,6	43,7	1605	3069	18,8	691	1168	575	696	225	321
	30—60		17,0	36,2	1464		11,8	477		121		96	
		Düngungsversuch											
G 25	0—30	Rotationsversuch, ungedüngt	18,6	49,6	1698	3201	27,5	941	1622	377	445	209	267
	30—60		17,0	38,2	1503		17,3	681		68		58	
G 26	0—30	1927/28: 200 lbs S. A. 150 lbs K_2SO_4; 300 lbs S. P. per acre	21,0	45,4	1632	3156	24,5	867	1462	867	934	447	503
	30—60	1930/31: 200 lbs S. A. 150 lbs K_2SO_4; 300 lbs S. P. per acre	20,9	39,2	1524		15,3	595		67		56	
G 27	0—30	Wie G 26, aber ohne Kali	18,9	45,1	1629	3174	24,0	885	1521	667	735	350	407
	30—60		18,1	40,3	1545		16,6	636		68		57	

Tabelle 31. Bodenbeschreibung (Oberägypten, Fayum).

Zeichen u. Nr. der Probe	Land	Provinz	Ort	Tiefe des Musters cm	Inländischer Name der Bodenart	Farbe	Verhalten des Bodens beim Trocknen	Bemerkungen über den Bau des Profils und Grundwasserstand	Bemerkungen über Ertragsklasse, Fruchtfolge, Düngung, evtl. über natürliche Vegetation
O 5	Ägypten	Fayum	Rhoda Hod 15	0—30	Kahla	weißl.-graubr.	mürbe	Oberflächlich locker mit Resten von Kufri. Nach unten toniger werdend bis zu blauem kalkreichem Ton. Grundwasser in 1 m Tiefe	III. und IV. Boden. Düngung: 20 t Kufri per Jahr
O 6	„	„	„	60—80	„	„	„		
O 7	„	„	Hod Bahi	0—30	„	„	mürbe Brocken	Oberflachlich Salzton. In 30 cm Tiefe mit weißen Effloreszenzen und Konkretionen. Übergehend in grünlichen Sand. Salziges Grundwasser in 60 cm Tiefe	Ursprüngliche Vegetation: Salz-Gräser, versalzte Senke
O 8	„	„	„	50—70	„	gelbl.-weiß	mürbe		
O 9	„	„	Hod Kharig	0—60	Varalija	weißl.-braun	völlig zerfallend	Unmittelbar unter der Oberfläche über einer Lage von Kalkkonkretionen zementiert 60—80 cm „wada" (dunkel) Horizont. Darunter Sand mit fossilen Wurzeln und Eisenhydrat-Flecken und Konkretionen. Grundwasser tief > 3,00	Jungfräulicher Boden mit harten, dürftigen Gräsern. Anscheinend alte Strandterrasse des Karim. Typisch für ± 8000 ha
O 10	„	„	„	60—80		gelbl.-weiß	„		
O 11	„	„	„	80—?		„	„		
O 12	„	„	Hod 18	0—25	Kahla	weißl.-graubr.	große harte Brocken und Schollen	0—25 cm gut durchluftet und locker, dann reiner Kalkhorizont (wada'?) unbekannter Mächtigkeit. Grundwasser > 3,0 m tief	Nur für Flachwurzeln zu gebrauchen, die gut gedeihen. Unbrauchbar für Baumwolle, die stets die Kapseln verliert
O 13	„	„	„	25—?	„	gelbl.-weiß	mürbe Brocken		
O 14	„	„	Medinet el Heit (el Ghaba)	0—30	Soda	„	sehr harte Brocken	bis 30 cm stark gerissen, mit weißen Effloreszenzen nach unten schwerer werdend. Bei 50 cm Gipshorizont. Bei 500 cm beginnt Tonschiefer mit Gipslagen. Grundwasser > 12 m tief	II. — III. Boden ± 4 dz Baumwolle. Düngung: Kufri, Baladi, vor 1 Jahr 700 kg Kalk. Jeder Versuch der Chilesalpeterdüngung führt wegen physikalischer Bodenverschlechterung zu schweren Rückschlägen
O 15	„	„	„	70—100		„	„		
O 16	„	„	„	500-1200		grau	„		

Diese Erhöhung kommt aber, und das ist der springende Punkt, durchaus nicht wie beim Gips in der Hauptsache der Krumenschicht, sondern der Hauptwurzelschicht von 30—60 cm Tiefe zugute, deren effektiv verfügbares Wasser sich von 43 auf 230 cbm erhöht, also nahezu versechsfacht hat. Durch eine einmalige Kalizufuhr wurde also in noch nicht einem Jahre eine erheblich größere Wirkung erzielt als durch wiederholte Gipsgaben in einem Zeitraum von 14 Jahren.

Die Ansicht JOSEPHs, daß für die schweren Sudantone und, wie man hinzufügen kann, alle schweren Na-Ton enthaltenden Böden, Kalisalze in reiner Form ein hervorragendes Meliorationsmittel, und zwar besonders zur Verbesserung des Untergrundes sind, wird durch das Ergebnis der Untersuchung im vollen Maße bestätigt.

Da, wie Versuche bewiesen haben, die melorisierende Wirkung des K-Ions vom Anion fast unabhängig ist, könnte auch zweckmäßig K und N zusammen als Kalisalpeter verabfolgt werden, was sehr große Frachtersparnis bedeuten würde.

e) Böden des Fayum.

Im Südwesten des Fayum liegen schwere bis sehr schwere Tonböden auf einem verhältnismäßig höheren Niveau bei 12 und mehr Meter betragender Grundwassertiefe. Obwohl hier an schädigendes Grundwasser nicht zu denken ist, treten in Zusammenhang mit der Salzanreicherung Verschlechterungen des Bodens bei längerer Kultur auf, wobei sich in vielen Fällen besonders eine außerordentliche Empfindlichkeit der Böden gegen Natronsalpeterdüngung bemerkbar macht, die in einer rapiden Verringerung der Durchlässigkeit und Verschlechterung der Bodenstruktur im allgemeinen sich auswirkt.

Ein typisches Profil dieser Art bieten die Böden, deren Beschreibung Tabelle 31 unter den Nummern O 14—16 enthält.

Der betreffende Boden ist ein sogenannter „Sodaboden", d. h. ein dunkelgrauer bis schwarzgrauer Ton, im trockenen Zustande bis etwa 30 cm Tiefe gerissen und, von Konkretionen und Effloreszenzen durchsetzt, der, dem Augenschein nach zu urteilen, nach unten zu schwerer und plastischer wird. In 50 cm Tiefe findet sich ein Horizont mit ausgeprägter Gipsaderung, der bis etwa 70 cm Tiefe erkennbar ist.

Dieser Gipshorizont setzt jedem Wurzelwachstum eine unübersteigliche Grenze. Die Krume, die der Baumwolle zur Verfügung steht, ist also auf diesem Boden sehr flach. Die Wasserbilanz ist dementsprechend auch nur bis zu dieser Tiefe aufzustellen und ergibt einen recht knappen Gehalt an dynamisch verfügbarem Wasser (s. Tabelle 35), der sich durch die Verdunstung noch weiter vermindert.

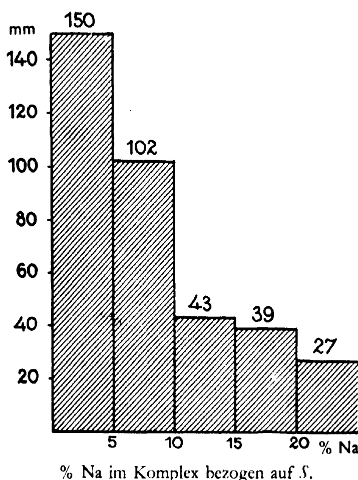
Tabelle 32. Mineralogische Untersuchung des Bodens.

Zeichen und Nummer der Probe	mm	Zusammensetzung der Feinerde													
		Quarz	Orthoklas usw.	Plagioklas	Magnesiaglimmer	Amphibole und Pyroxene	Kalkdetritus	Muschelschalen usw.	Kalkkonkretionen	Eisenkonkretionen	Magnetit	Protozoengerüste und Diatomeen	Org. Reste	Vulk. Glas	Zersetzungsmaterialien
O 5	2—0,2	99	?	?			?	1		?	?				
	0,2—0,02	87	?	3		2	3	?			?	5			
O 6	2—0,2	99	?	?		?	?	1		?					
	0,2—0,02	88	?	3		2	3	?			?	4			
O 7	2—0,2	95	?	?			5	?							
	0,2—0,02	94	?	1			5				?				
O 8	2—0,2	99	?	?		?	1	?							
	0,2—0,02	98	?	?		?	2				?				
O 9	2—0,2	97	?	?		?	1	2		?					
	0,2—0,02	92	?	2		1	5	?			?				
O 10	2—0,2	75					10	15							
	0,2—0,02	78	?	2		?	10	10							
O 11	2—0,2	88	?	?			10	2							
	0,2—0,02	78	?	2		?	20	?			?				
O 12	2—0,2	90		?			5	5							
	0,2—0,02	82	?	3		?	5	10							
O 13	2—0,2	60		?			30	10							
	0,2—0,02	46	?	3		1	25	20				5			
O 14	2—0,2	57		1	?		10	1	30				1		
	0,2—0,02	92		4	?	2	2				?				
O 15	2—0,2	29		?	?		20	1	50						
	0,2—0,02	61		5	?	?	30					1		1	2
O 16	2—0,2	100		?						?					
	0,2—0,02	75		5		3	5					10			2

Daß dieser Wassermangel von O 14/15 auf die Dichte des Profils, d. h. die Häufung von löslichen Salzen und Natron, schon in der

Krumenschicht und noch mehr im tieferen Untergrunde zurückgeht, zeigen die Tabellen 34 und 35.

Schon in der Krumenschicht sind 12 % des Sorptionskomplexes von Na gesättigt. Der Na-Gehalt des Bodens befindet sich gerade in der Größenordnung, die sich durch besondere Empfindlichkeit für eine Vermehrung des Na auszeichnet, weil diese die Wasserbeweglichkeit im Boden verschlechtert. Dies zeigt im Mittel der gesamten, von uns aus Ägypten untersuchten Tonböden Diagramm Abb. 25. Die außerordentliche Empfindlichkeit des Bodens gegen Natronsalpeter, d.h. gegen eine Erhöhung des Na-Gehaltes, ist also im Bau der Adsorptionskomplexe in diesen Böden begründet.



% Na im Komplex bezogen auf S.

Abb. 25. Kapillare Endsteighöhe in mm als Funktion des Na-Gehaltes der Komplexe der ägyptischen Tonböden (Ton > 50 %).

Capillary rise in mm as function of the sodium content of the colloidal complex in Egyptian clay soils (more than 50 % clay).

Abscyssa: Sodium content of complex (as % S).

Die mineralogische Gestaltung des Profils (s. Tabelle 32) ist durch ein starkes Zurücktreten des Glimmers gekennzeichnet, was sicher mit den Absatzverhältnissen der Sedimente im Fayum zusammenhängt, da gröbere Partikelchen kaum jemals dorthin aus dem Niltal gelangt sind. Neben Quarz überwiegen Kalkkonkretionen und Kalkdetritus. Außer Muschelresten treten schon im zweiten Horizont nicht unbeträchtliche Mengen von Protozoengerüsten und Diatomeen auf, deren Anteil im tiefsten Untergrunde bis auf ±10% der Feinsandfraktion in die Höhe schnellt. Der maritime Ursprung der Untergrundtone des Fayum wird dadurch bewiesen.

In chemischer Hinsicht fällt die Reaktion des Profils mit 8,6 p_H durchaus in den allgemeinen Rahmen der Böden Ägyptens.

Zeichen und Nummer der Probe	In % Trockensubstanz. Mechan. Zusammensetzung: Grobsand I	Feinsand I	Schluff I	Ton I	Grobsand II	Feinsand II	Schluff II	Ton II	Strukturfaktor	Hygroskopisches Wasser	Minimale Wasserkapazität	Totes Wasser i. % für Mais	Baumwolle	Weizen	Bersim	Kritische Schicht cm	Steighöhe nach 5 Stunden	nach 25 Stunden	Total	1000 × q	Bei Ausgang von % feste Teile	Wasser %	Luft %	Lineare % Schrumpf.
O 5	12,6	16,4	20,5	50,5	12,8	41,9	43,8	1,5	96	8,6	55,2		18,0		21,8	10,5	45	89	119	69	43	54	3	11,3
O 6	2,5	12,2	22,8	62,5	3,0	42,0	48,6	6,4	90	11,5	75,8		30,5		38,4	4,4	18	39	55	188	34	64	2	16,0
O 7	17,6	45,8	11,2	25,4	18,3	57,7	24,0	0	100	4,2	25,1		63,6		89,0	33,3	131	264	357	24	56	42	2	5,0
O 8	12,7	58,5	5,8	23,0	13,3	55,7	31,0	0	100	4,6	41,7		25,0		33,7	7,8	16	49	101	263	60	35	5	4,0
O 9	64,4	23,5	3,9	8,2	65,5	25,2	9,3	0	100	1,7	12,4		11,3		15,4	41,5	235	374	435	10	60	15	25	—
O 10	54,5	34,3	3,6	7,6	55,1	36,9	5,1	2,9	62	1,3	16,3		3,7		4,7	22,6	152	215	238	12	60	24	16	—
O 11	87,5	7,3	1,4	3,8	88,2	8,6	1,8	1,4	63	1,1	9,4		2,2		2,7	28,0	250	276	286	2,5	56	11	33	—
O 12	22,9	42,7	11,0	23,4	23,5	48,4	20,8	7,3	69	3,6	29,5		7,3		8,8	32,5	162	275	345	17	57	37	6	4,5
O 13	2,7	42,3	28,6	26,4	3,5	62,4	29,1	5,0	81	4,3	39,3		8,6		10,4	46,4	140	337	500	26	53	46	1	4,0
O 14	3,3	18,4	20,2	58,1	3,8	44,4	34,6	17,2	70	9,9	56,1		22,1		27,2	3,3	15	30	41	211	37	59	4	16,0
O 15	4,1	19,0	21,6	55,3	5,0	22,5	37,2	35,3	36	13,4	70,1		33,5		41,9	2,0	?	20	20	?	40	59	1	15,0
O 16	0,7	9,2	18,6	71,5	2,0	42,8	45,2	10,0	86	13,5	73,0		39,2		50,0	2,1	6	24	33	681	32	64	4	17,0

Tabelle 34. Chemische Untersuchung des Bodens (Analysendaten).

Zeichen u. Nummer der Probe	p_H in Wasser	p_H in n-KCl	C %	N %	C/N	P_2O_5 Total %	P_2O_5 n. NEUBAUER mg	Zusammensetzung der löslichen Salze in Milliäquival.: Karbonate	Na	K	Mg/2	Ca/2	Zusammensetzung der Komplexsättigung in Milliäquivalent: H	Na	q_{Na}	K	q_K	Mg/2	q_{Mg}	Ca/2	q_{Ca}	S	q_S	T	V %	K in Milliäquiv. n. NEUBAUER
O 5	8,4	7,8	1,05	0,080	13	0,099	0	0,20	3,34	0,27	—	1,88	1,05	1,65	?	0,84	>200	9,66	17,00	22,33	2,01	34,48	1,78	35,51	97	1,42
O 6	8,6	8,0	0,65	0,050	13	0,111	0	0,23	9,27	0,17	—	1,70	0,60	6,06	4,05	0,74	56,8	7,35	10,40	30,29	2,80	44,44	1,68	45,04	99	1,19
O 7	8,0	7,8	0,62	0,041	15	0,047	1,57	0,13	32,68	0,32	7,93	18,15	—	2,42	?	0,47	134,1	5,02	7,96	8,17	1,55	16,08	1,84	16,08	100	0,08
O 8	8,4	8,2	0,50	0,021	24	0,031	1,68	0,16	12,22	0,08	0,58	2,09	0,84	3,26	?	0,33	79,6	3,83	5,96	8,43	3,38	15,85	1,26	16,69	95	0,54
O 9	8,6	8,4	0,52	0,013	40	0,086	3,70	0,10	5,76	0,52	—	13,62	2,22	1,32	3,10	0,09	>200	1,00	?	3,80	25,49	6,21	13,26	8,21	76	0,73
O 10	9,6	8,8	0,56	0,008	70	0,046	0,75	0,17	1,08	0,20	—	0,29	0,81	1,08	241,1	0,25	1093?	0,77	?	2,40	12,09	4,50	11,10	5,31	85	0,58
O 11	9,4	8,6	0,64	0,003	213	0,043	0,09	0,24	0,29	0,11	—	0,29	1,39	0,37	641,6	?	?	0,67	59,60	1,77	27,53	2,72	11,55	3,66	62	0,39
O 12	8,6	7,8	1,04	0,075	14	0,090	5,25	0,38	0,94	0,15	0,23	0,99	0,75	0,38	211,6	0,99	84,6	3,66	5,00	8,30	1,55	13,33	1,43	14,08	95	1,48
O 13	8,8	8,0	0,62	0,025	25	0,099	1,13	0,27	1,21	0,19	0,12	0,37	0,89	0,59	6,0	1,04	57,7	6,45	1,80	7,89	5,15	15,97	1,68	16,86	95	1,25
O 14	8,6	7,6	1,40	0,068	21	0,089	0,09	0,29	4,84	0,08	0,28	0,49	0,52	4,63	2,4	0,93	>200	16,70	1,8	16,20	2,68	38,46	0,82	38,98	99	1,33
O 15	8,6	7,6	1,36	0,028	49	0,085	0,05	0,30	9,14	0,16	0,25	0,40	0,59	12,14	3,5	1,54	116,8	15,90	1,9	16,26	5,88	45,87	1,20	46,46	99	0,72
O 16	8,6	7,6	1,76	0,104	17	0,023	8,56	0,24	11,84	0,34	1,33	2,72	0,85	6,80	11,6	1,05	381,0	16,70	3,7	27,26	2,96	51,81	1,47	52,66	98	1,27

Tabelle 35. Untersuchung des Bodens (Übersichtsdaten).

Zeichen und Nummer der Probe	Anzurechnende Schichtdicke	Minimales Porenvolumen	Wasserbilanz								Kali-, Magnesia- und Kalkbilanz (Kiloäquivalent pro ha)													
			Mögliches Wasser			Statisch verfügbares Wasser			Dynamisch verfüg. W.			Verfügbares Kali je ha und Saison					Verfügbare Magnesia je ha und Saison				Verfügbarer Kalk je ha und Saison			
			W.	M. W. cbm pro Schicht	Summe	St.	St. W. cbm pro Schicht	Summe	cbm pro Schicht	Summe	G_{tr}	aus Lösung	aus Komplex	aus Mineral	Summe pro Schicht	Total	aus Lösung	aus Komplex	Summe pro Schicht	Total	aus Lösung	aus Komplex	Summe pro Schicht	Total
	cm	%	%			%					t													
O 5	21,0	24,4	49,3	1694		31,3	1207		844		112	6,35		—	6,43		—		0,82		4,42		8,29	
(30-60 cm)	21,0		39,5	1530	4280	21,5	833	2331	581	1552	127	7,20	0,23	—	7,28	15,63	—	2,45	0,82	2,46	5,01	11,60	8,88	22,88
O 6	8,8	29,0	42,1	1056		11,6	291		127		123	1,84		—	1,92		—		0,82		1,84		5,71	
O 7	30,0	20,9	24,3	1176		—	—		—		158	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(30-50 cm)	20,0		23,2	760	2347	—	—	203	—	203	161	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
O 8	10,0	16,1	26,3	411		1,3	203		203		153	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
O 9	30,0	26,1	12,4	738		1,1	65		65		196	30,58		—	30,59		—		0,14		800,8		801,2	
(30-60 cm)	30,0		12,4	738	3185	1,1	65	1443	65	1443	196	30,58	0,05	—	30,59	81,29	—	0,57	0,14	0,56	800,8	1,25	801,2	1647,6
O 10	20,0	26,1	16,3	600		12,6	464		464		182	7,28		—	7,29		—		0,14		10,6		11,0	
O 11	56,0	30,7	9,4	1109		7,2	849		849		208	12,81		—	12,82		—		0,14		33,8		34,2	
O 12	25,0	20,9	28,1	1065	5185	20,8	782	3733	782	3733	149	5,58	0,41	—	5,78	31,37	8,57	3,96	10,55	28,56	36,9	5,46	39,63	91,74
O 13	92,8	26,2	30,3	4120		21,7	2951		2951		144	25,39		—	25,59		16,03		18,01		49,4		52,13	
O 14	6,6	23,6	49,9	1701	2741	27,8	948	1429	208	367	113	0,61	0,18	—	0,70	1,45	2,09	10,43	7,30	14,81	3,65	8,67	7,98	16,35
(30-50 cm)	6,6		41,1	1040		19,0	481		159		125	0,66		—	0,75		2,30		7,51		4,04		8,37	
O 15	4,0	21,0	30,3	1332	—	—	—	—	—	—	144	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
O 16	4,2	30,7	30,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Der Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt des Bodens ist relativ niedrig, sehr bemerkenswerterweise, weil Humus- und Holzkohle fehlt; das C/N-Verhältnis aber bedeutend enger als in den Böden des Sudans, besonders im Obergrunde. Totalphosphorsäure mit beachtlicher Löslichkeit ist ziemlich reichlich vorhanden, und auch die Neubauerzahlen weisen auf mindestens mittelmäßige P_2O_5-Versorgung vieler Böden hin.

In der Bodenlösung dominiert bei weitem das Na. Ca ist relativ reichlich vorhanden, und daneben tritt namentlich in der Krumenschicht ein sehr merklicher Gehalt löslicher Mg-Salze auf. Es scheint, als wenn größere Mengen von Mg in der Bodenlösung bei gleichzeitig nennenswertem Gehalt des Bodens in den Komplexen als ungünstiges Moment zu betrachten sind.

Gerade ein höherer prozentischer Anteil des Mg im Sorptionskomplex ist aber das, was die meisten Tone Ägyptens von den Tonen der Gezira unterscheidet. Er liegt im großen und ganzen doppelt so hoch (20 bis 30 %) wie im Sudan (10—15 %).

Die Resultate enthält die nachstehende Tabelle 36.

Sehr interessant gestaltet sich die Kalibilanz. Für die auf die Probenahme folgende Saison ergab sich im Boden als verfügbar rund 1,5 Kiloäquivalent je Hektar. Diese würde bei Ashmouni zur Produktion von rund 4 dz je Hektar ausreichen. Es ist wohl kaum als ein Zufall zu betrachten, daß die tatsächlichen Ernten sich fast genau in dieser Höhe bewegen.

Im ganzen betrachtet ist der Totalgehalt an löslichem und Komplexkali in der für die Wurzeln ohne Melioration in Frage kommenden Bodenschicht bis zum Gipshorizont (50—60 cm Tiefe) mit wenig mehr als 1 Milliäquivalent je 100 g Trockensubstanz mittelmäßig, was jedenfalls bereits auf allmähliche Erschöpfung zurückzuführen ist. Der

Tabelle 36.

Sorte	Maarad 3 Pflanzen		Sakellaridis 3 Pflanzen		Ashmouni 3 Pflanzen	
Trockengewicht	515,0 g		503,0 g		603,0 g	
Rohasche . . .	11,94%		15,64%		12,06%	
Reinasche . . .	8,27%		9,05%		9,59%	
Sand und SiO_2 .	3,67%		6,59%		2,47%	
		M.-Äquiv./100 g		M.-Äquiv./100 g		M.-Äquiv./100 g
CaO	2,32%	82,9 Ca/2	2,46%	87,9 Ca/2	2,68%	95,7 Ca/2
MgO	0,81%	40,2 Mg/2	1,07%	53,3 Mg/2	0,79%	39,2 Mg/2
K_2O	2,19%	46,5 K	2,39%	50,7 K	2,44%	51,8 K
Na_2O	0,225%	7,3 Na	0,42%	13,5 Na	0,17%	5,5 Na
P_2O_5	0,665%	28,1 $PO_4/3$	0,61%	25,8 $PO_4/3$	0,76%	32,3 $PO_4/3$
N	1,48%	106,0 NO_3	1,61%	114,9 NO_3	1,56%	111,4 NO_3
Trockengewicht	10,50 t		10,24 t		12,29 t	
kg-Äquiv. Ca/2	12,14		12,57		16,45	Nährstoffbedarf je ha bei Maximalernte
„ Mg/2	4,21		5,45		4,81	
„ K	4,88		5,19		6,36	
„ Na	0,76		1,38		0,67	
„ $PO_4/3$	2,95		2,64		3,95	
„ NO_3	11,12		11,76		13,69	

14*

Untergrund unterhalb des Gipshorizontes ist erheblich kalireicher, kommt aber, da die Wurzeln in ihn allerhöchstens vereinzelt eindringen, einstweilen als Kalilieferant nur in sehr zurücktretendem Maße in Frage.

Trotzdem ist mit einer schnellen Kaliwirkung bei gegebener Düngung auf diesem Boden nicht zu rechnen. Der für die Beurteilung der Düngerwirkung maßgebende q_S-Wert der nutzbaren Schicht liegt mit 0,82 noch merklich unter 1, bei $S = 38{,}5$. Der Boden gehört also zu dem inaktiven Typus. Als zunächst vom Boden festgelegte K-Menge, bevor sich der Inhalt der Bodenlösung wesentlich vermehrt, berechnet sich bis zur Wurzeltiefe nach Formel (17), S. 74, $F = D = m\,S\,(1 - q_S)$ $= 50 \cdot 1{,}3 \cdot 38{,}5\,(1 - 0{,}82) = 456$ Kiloäquivalent K entsprechend etwa 40 t K_2SO_4. Durch Verringerung der q_K-Werte bei fortschreitender Sättigung ist allerdings bereits lange vorher das Einsetzen einer befriedigenden Momentanwirkung zu erwarten. Aber immerhin werden erst relativ sehr starke Kaligaben auf einen durchschlagenden augenblicklichen Erfolg rechnen können, der dann stets mit einer bemerkenswerten Nachwirkung Hand in Hand gehen wird.

Aus den bei der Erörterung der Sudanböden auseinandergesetzten Gründen ist auf diesen Böden, genau wie bei den Böden der Gezira, das K nicht nur als Pflanzennährstoff, sondern auch als Meliorationsmittel zu bewerten, um den Wasserhaushalt des Bodens zu verbessern und vor allem die nutzbare Ackerkrume zu vertiefen. Wie im Sudan wird eine Kombination von Ca und K das angezeigte sein, um sofortigen Erfolg der Maßnahme möglich zu machen.

Der q_{Mg}-Wert (s. Tabelle 34) der nutzbaren Schicht ist bei $Mg/2 = 16{,}7$ nur 1,8, d. h., da die Haftfestigkeit eines Kations proportional dem zugehörigen q-Werte ist, daß jede Zufuhr eines Salzes, dessen Anion mit Mg lösliche Verbindungen gibt, sofort sehr erhebliche Mg-Mengen in die Lösung im Boden bringt, die sich unangenehm bemerkbar machen müssen.

Man wird daher bei diesen Böden Chloride und Sulfate sowohl als Dünge- wie als Meliorationsmittel besser vermeiden. Das CO_3-Ion ist in dieser Richtung unbedenklich. Ein gleiches gilt vom NO_3-Ion, das von den Pflanzen schnell aufgenommen wird und damit verschwindet, was, soweit es durch Austausch an Mg gebunden ist, zu dessen Aus-

fallen als Hydroxyd bzw. unter Einwirkung der vorhandenen freien oder gebundenen Kohlensäure als Magnesiumkarbonat führen muß.

Daraus ergibt sich als zweckmäßigste Kombination für Düngung und Melioration die Behandlung des Bodens mit Kalk und KNO_3, um Oberflächen- und Tiefenwirkung gleichzeitig zu erzeugen und den Kalihaushalt des Bodens ebenfalls zu verbessern.

Bezüglich der anzuwendenden Kalkmenge kann bei den vorliegenden Bodenverhältnissen gesagt werden, daß sie nach oben praktisch unbeschränkt ist. Für Kaliumnitrat kommt zweckmäßig diejenige Menge in Betracht, die der Differenz des Bedarfes einer Maximalernte an K und der jährlichen Zufuhr durch das Irrigationswasser entspricht.

Der durchschnittliche Kaligehalt des Nilwassers beträgt 0,2 Milliäquivalent K je Liter, entsprechend 2 Kiloäquivalent K je Hektar, bei einer anzunehmenden Bewässerung von rund 10000 cbm je Hektar und Baumwollsaison. Der Bedarf der Maximalernte von Ashmouni an K ist auf 6,0 Kiloäquivalent je Hektar zu berechnen. Hinsichtlich des Kalis würde sich also eine Kaliumnitratgabe von 4 Kiloäquivalent K je Hektar, entsprechend rund 400 kg Kaliumnitrat je Hektar, ergeben. Das bei dieser Düngung noch bestehende Stickstoffmanko von rund 10 Kiloäquivalent NO_3 je Hektar wäre zweckmäßig durch 1000 kg Kalknitrat (100 kg $Ca(NO_3)_2 \sim 1$ Kiloäquivalent NO_3 bei Handelsware) auszugleichen, wobei dem Boden auch noch die begleitenden Kalkmengen zugute kämen.

Daß dem Kalium-Ion auch bei Bindung an NO_3 dieselbe starke meliorierende Wirkung auf Natronton zukommt, wie sie für das Kaliumsulfat durch die Versuche in Wad-Medani bewiesen ist, zeigen die folgenden, an ägyptischen Natrontonen ermittelten Ziffern (Tabelle 37):

Tabelle 37. Einfluß von KNO_3 auf die Endsteighöhe.

Boden	Na im Komplex %	Steighöhe unbehandelt	Steighöhe nach Zufügung zu je 100 g Boden von Milliäquivalent K als KNO_3: 2,5	5	25	50
Au	26,9	27 mm	45 mm	58 mm		
O 15	26,5	20 „	24 „	32 „		
O 16	14,9	27 „	27 „	31 „		
O 26	12,2	27 „	31 „	39 „	64 mm	94 mm
O 23	21,7	17 „	17 „	19 „		

Zum Vergl.: Boden O 26 behandelt mit 25 Milliäquivalent K als Sulfat . . . 83 mm Steighöhe.

Die Meliorationswirkung beträgt im Falle der Behandlung des Bodens mit 2,5 Milliäquivalent K als KNO_3 je 100 g Bodensubstanz im Durchschnitt 8,2 %, im Falle der Behandlung mit 5 Milliäquivalent K 15,2 % und schnellt bei größeren Gaben rapid in die Höhe. Eine Verschiebung der Bodenreaktion nach der alkalischen Seite ist bei einem derartigen Vorgehen kaum in nennenswertem Maße zu befürchten.

Wesentlich andere Probleme bieten die Böden der Nordostecke des Fayum, wo insbesondere die Umgegend von El Rodah näher untersucht wurde, wo sich nebeneinander alle drei Gruppen der dort interessierenden Böden finden.

Die erste Gruppe wird repräsentiert durch das Profil O 5/6.

Trotz der jährlich wiederholten riesigen Kufrigabe von rund 50 t je Hektar ist der Ertrag dieser Böden, die eine sehr erhebliche Flächenausdehnung besitzen, sehr mäßig. Mineralogisch fällt an den Profilen außer dem gänzlichen Fehlen von Glimmer, wie überhaupt im Fayum, das Auftreten von Protozoenpanzern und Diatomeen schon im Feinsandanteil des Obergrundes auf. Es handelt sich um genau dieselben Arten, wie sie O 16 in 5 m Tiefe zeigt. Physikalisch ist der sehr hohe Strukturfaktor des Bodens hervorzuheben, der im Untergrunde trotz des hohen Natriumgehaltes noch besteht. Dieser Umstand äußert sich nicht allein in einer für einen schweren Ton mit 62,5 % Teilchen $< 0{,}002$ mm noch beträchtlichen kritischen Schichtdicke von 4,4, sondern auch in einem spannungsfreien Porenvolumen von noch 19,0 %, das eine noch erhebliche Durchlässigkeit dieses schweren Bodens bedeutet.

Die löslichen Salze setzen sich zum größten Teil aus Na-Salzen zusammen. Der Gehalt an löslichem Kali ist hoch, an Komplexkali relativ niedrig. Magnesia in löslicher Form existiert nicht.

Die Wasserbilanz der Böden ist äußerst günstig. Sehr interessante Verhältnisse bietet die Basenbilanz. Kali steht aus der Lösung in außerordentlichen Mengen zur Verfügung, sehr wenig aus den Komplexen. Dieser Umstand dürfte sich in erster Linie aus der starken Kufridüngung erklären, die jedesmal (50 t je Hektar) der folgenden Nährstoffzufuhr in Kiloäquivalenten je Hektar in löslicher Form entspricht.

$$10\,(PO_4)/3,\quad 5\,NO_3,\quad 11{,}5\,Na,\quad 5\,K,\quad 350\,Ca.$$

Da die q_S-Werte des Bodens über 1 liegen, wird nur ein kleiner Bruchteil des Kalis festgelegt, und der große Reichtum der Bodenlösung ist also durchaus erklärlich.

Kaum ausreichend ist der Gehalt des Bodens an verfügbarer Magnesia mit noch nicht 3 Kiloäquivalent.

Nach den Reduktionserscheinungen im Untergrunde zu schließen, dürfte der Lufthaushalt in der Wurzelzone bei dem hohen Grundwasserstande mangelhaft sein.

Die zu ergreifenden Meliorationsmaßnahmen sollten im wesentlichen in einer gründlichen Drainage und zunächst wenigstens in der Zufuhr von Magnesiadünger bestehen. Die zweckmäßigste Magnesiaform ist Kalimagnesia mit rund 26% $MgSO_4$-Gehalt. Trotzdem die Böden des besprochenen Typus einstweilen sicherlich keine Kalidüngung nötig haben, ist dieses Düngemittel zu empfehlen, da die Kalireserven nur schwach sind, so daß das als Nebenbestandteil der Mg-Gabe zugeführte K jedenfalls nicht verloren ist, wenn es auch momentan nicht zur Wirkung kommt. Ob P_2O_5-Düngung ohne Mg-Zufuhr zu einem Erfolge führt, scheint fraglich und wäre erst durch Versuche zu klären. Stickstoffdüngung ist dagegen ohne jede Frage nötig.

Eine Vorstellung des Baues und der Eigenschaften der zweiten Gruppe dieser Böden vermittelt das Profil O 7/8, das unter der natürlichen Vegetation in einer kleinen Senke entnommen ist.

Wie Tabelle 34 zeigt, ist die Salzkonzentration besonders in der Krumenschicht sehr hoch. Es liegen wesentlich Chloride und Sulfate des Ca und Na vor, doch treten auch lösliche Magnesiasalze in erheblichen Mengen auf. Trotz des sehr starken Überwiegens des Na in der Bodenlösung (Tabelle 35) ist der Bau der Komplexe davon verhältnismäßig wenig berührt. Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß die Entwässerung und Entsalzung aus diesen Böden ein wenn auch nicht erstklassiges, so doch durchaus beachtenswertes Kulturmedium machen wird.

Ein wesentlich größeres Interesse beansprucht praktisch die eigentliche Fläche der Seeterrasse, deren Profile die Böden O 9/11 repräsentieren, und zwar wegen ihrer nach den gemachten Angaben mindestens 8000 ha betragenden Ausdehnung.

Bezüglich des Profilbaues an der Stelle der Probenahme sei auf Tabelle 31 verwiesen.

Die Krumenschicht oberhalb der in 60 cm Tiefe sich findenden Kalkschicht, die zum großen Teil aus Muschelschalen besteht, ist sehr stark mit löslichen Kalksalzen angereichert, auf die auch die Zementierung unmittelbar unter der Oberfläche gemeinsam mit den Na-Salzen zurückzuführen ist. Die Bodenlösung ist allgemein reich, mit Ausnahme an Mg, das sich, wie Tabelle 34 zeigt, in völligem Mißverhältnis zum verfügbaren Kalkgehalt befindet.

Bei dem sehr großen Betrage des spannungsfreien Porenvolumens ist, wenn die zementierte Schicht einmal durchbrochen ist, was bei ihrer Lage unmittelbar unter der Oberfläche keine Schwierigkeiten bereitet, die Auswaschung des Profils ohne jede Schwierigkeit zu bewirken. Was dann übrigbleibt, sind leichte Sandböden, die vielleicht noch für 1—2 Ernten von ihrem restierenden Vorrat an löslichen Pflanzennährstoffen zehren können, aber dann sehr erhebliche Düngeraufwendung, und zwar an allen Pflanzennährstoffen, nötig machen werden. Denn der größte Teil des heute löslichen Nährstoffgehaltes geht sofort bei der ersten Durchwaschung verloren, und die Reserve ist sehr klein.

Dabei ist damit zu rechnen, daß als nutzbare Krumentiefe mindestens für Baumwolle trotz der großen Durchlässigkeit des Profils nur die Schicht bis zum Kalkhorizont in Frage kommen wird.

Die Berechtigung dieser Ansicht leitet sich aus der Untersuchung des benachbarten, bereits kultivierten Profils O 12/13 her. In diesem Profil liegt nämlich der Kalkhorizont bereits 25 cm unter der Oberfläche. Hier läßt sich zwar die Kultur flachwurzelnder Gewächse ohne jede Schwierigkeit durchführen, die Baumwolle verliert jedoch ihre Kapseln. Man geht kaum fehl, diese Erscheinung auf die Behinderung der P_2O_5-Aufnahme durch das große Mißverhältnis Ca/Mg zurückzuführen, das in Tabelle 34 nicht in vollem Maße zum Ausdruck kommt. Denn da Daten über die Ausnutzung von $CaCO_3$ durch die Wurzeltätigkeit nicht existieren, konnte nur der aus Lösung und Komplexen verfügbare Kalk berechnet werden. Bei den vorhandenen riesigen Mengen $CaCO_3$ ist es aber, da Wurzeln Kalksteine ohne weiteres angreifen, als selbstverständlich anzunehmen, daß das Ca noch außerordentlich viel stärker im Überschusse ist, als es nach der Tabelle schon ohnehin erscheint. Es wäre von ganz prinzipiellem Interesse, durch Versuche mit Mg-Düngung festzustellen, ob sich durch diese

nicht die besprochenen Mißstände, auch in einem solchen Falle wie den vorliegenden, beseitigen ließen.

In Übereinstimmung mit der Erfahrung ist auf diesen Böden eine gute Düngerwirkung mindestens für alle flachwurzelnden Gewächse mit Sicherheit zu erwarten.

f) Böden des oberen Niltales (Tabellen 38—43).

Die untersuchten Böden (Tabelle 38) gehören zum Typus der Ssafraböden, 31/32 ist ein Übergang vom frischen Nilsediment. Der Boden 31/32 gilt als Kulturboden ersten Ranges, der zwischen 7—10 dz Lint von Ashmouni je Hektar liefert und auch an den übrigen Kulturpflanzen, Bersim und Zwiebeln, sehr beachtenswerte Ernten bringt.

Physikalisch ist 31/32 (Tabelle 40) als ein im Ober- und Untergrund sehr gleichmäßiger toniger Schluffboden mit recht hoher Wasserbeweglichkeit zu charakterisieren bei guter minimaler Wasserkapazität. Der Boden nimmt das Wasser sehr leicht auf, ohne es jedoch schnell versickern zu lassen, so daß er nach der Überstauung tatsächlich das gesamte mögliche Wasser, d. h. also bis 90 cm Tiefe, den enormen Betrag von 4238 cbm enthalten dürfte. Der relativ geringen Hygroskopizität und dem noch geringeren Salzgehalt entsprechend sind davon 2404 cbm sowohl statisch wie dynamisch verfügbar, eine Wassermenge, die an die der Rekordfelder des Gashdeltas heranreicht.

Chemisch fällt die gute Ausbalanciertheit der Bodenkomplexe auf (Tabelle 41—42). Das pro Saison verfügbare Kali ist im Augenblick noch genügend, stammt aber, wie Tabelle 42 zeigt, zum weitaus größten Teil aus der Bodenlösung, die nur in der Oberkrume einen nennenswerten Gehalt aufweist. Da die Reserve aus den relativ kleinen Mengen Komplexkalis und den Mineralien (Tabelle 39) nicht sehr reichlich fließt, ist die bisher schon geübte Berücksichtigung des Kalis in der Düngung neben N und P_2O_5 durchaus als richtig zu bezeichnen, und es wäre nur das K_2SO_4 zweckmäßig durch Kaliumnitrat unter Weglassung des Kalknitrates zu ersetzen.

Das Profil bietet in Bestätigung der praktischen Erfahrungen ein sehr gutes Kulturmedium.

Besonders interessante Verhältnisse zeigt das Profil 27/28. Es handelt sich um einen sehr alten Bassinboden, der früher alljährlich

Tabelle 38. Bodenbeschreibung Oberägyptens.

Zeich. u. Nr. der Probe	Land	Provinz	Ort	Tiefe des Musters cm	Inländ. Name der Bodenart	Farbe	Verhalten des Bodens beim Trocknen	Bemerkungen über den Bau des Profils und Grundwasserstand	Bemerkungen über Ertragsklasse, Fruchtfolge, Düngung, evtl. über natürliche Vegetation
O 31	Ägypten	Kena	Abu Shusha	0—30	Ssafra-Tamm	hell-braun	mürbe Brocken	Keine Horizontbildungen. Unterhalb 3 m Sand und Kies. Grundwasser in 20 m Tiefe	Bassinboden, gut. I. Fruchtfolge: Bersim, Brashe, Baumwolle (7—8 Kantar). Düngung zur Baumwolle: 100 kg SP, 75 kg K_2SO_4, 200 kg $Ca(NO_3)_2$ pro Feddan
O 32	,,	,,	,,	70—90	,,	,,	,,		
O 27	,,	Girgha	El Khalafia	0—30	Ssafra	,,	,,	Keine Horizontbildungen. Grundwasser in = 6 m Tiefe	Bassinland. I. Fruchtfolge: Bersim, Zwiebeln, Baumwolle (5—7 Kantar). Düngung: 200 kg $Ca(NO_3)_2$ pro Feddan. Seit 8 Jahren kein Stalldünger
O 28	,,	,,	,,	70—100	,,	,,	,,		
O 29	,,	,,	Anlad Hehia	0—30	,,	,,	,,	Bei 50 cm harter Illuvialhorizont. Sehr tiefer Grundwasserstand	Bassinland. III. Schlecht für Baumwolle keine Kapselbildung. Fruchtfolge: Weizen Mais, Zwiebeln, Baumwolle. Düngung: 10—20 t „marog“ pro Jahr und Feddan
O 30	,,	,,	,,	60—90	,,	,,	,,		
O 19	,,	Mimeh	El Gafardam Wush el Birket	0—30	Kahla-Ssafra	,,	,,	Kleine Kalkkonkretionen im ganzen Profil. Boden spez. sehr leicht, nach unten plastisch werdend. Grundwasser tief ± 3,5 m	Baumwolland. Ia. Düngung alle 2 Jahre: Kalk, 10 t „Kufri“, 100 kg Kalkstickstoff, 100 kg $Ca(NO_3)_2$, 200 kg SP, 100 kg K_2SO_4. Kaliwirkung auffallend stark zur Nachfrucht! pro Feddan
O 20	,,	,,	,,	70—100	Ssafra-Kahla	,,	polyedr. mürbe Brock.		
O 21	,,	,,	El Gafardam Hod el Ma'gara	0—30	,,	,,	kl. polyed. Br.	Wie 19/20, aber weniger Konkretionen. Grundwasser ± 2,5 m	Dasselbe!
O 22	,,	,,		40—70	,,	,,	harte Brock.		
O 23	,,	,,	Beni Salih	0—30	Soda	,,	,,	Nach unten zu sehr hart und fest. Viele kleine Kalkkonkretionen im ganzen Profil. Grundwasser ± 3,5 m. Bei 36 cm Spuren von Gipsäderung	Guter Baumwollboden, starke Nachwirkung der Düngung
O 24	,,	,,	,,	60—80	,,	,,	mürbe Brock.		
O 25	,,	,,	Mansafis El Awasliga	0—30	,,	,,	,,	Nach unten leichter werdend. In 30 cm Tiefe dünne undurchlässige Lage. Darunter bis 60 cm Tiefe viele Kalkkonkretionen. Grundwasser ± 3,5 m	I. Baumwollboden. Mechanisch kultiviert. Düngung 35 t Kufri und 15 t Kalk pro Jahr und Feddan. Kaliwirkung bei Versuchen sehr stark, gute Nachwirkung
O 26	,,	,,	,,	70—100	,,	,,	harte Brock.		
O 17	,,	ReniSuef	Beba	0—30	Kahla	,,	mürbe Brock.	Bis 40 cm sehr gut durchlüftet. Bei 40 cm Tiefe kleiner Kalkkonkretionshorizont. Sonst keine Horizontbildungen bemerkbar. Grundwasser sehr tief	Ia. Baumwollboden >10 Kantar. Jährliche Düngung: 75 kg K_2SO_4, 200 SP, 100 $Ca(N_3O)_2$
O 18	,,	,,	,,	70—100	,,	,,	,,		
O 1	,,	Giza	Kafr tunnar Hod el Shirka	0—30	Ssafra-Kahla	grau-braun	harte Brock.	Keine Horizontbildungen, von 30 cm Tiefe an merklich fester werdend. Grundwasser : 6,0 m Tiefe	Ia. Baumwolland bis 12 Kantar. Düngung: 12 t Baladi, 50 kg SP, 75 kg K_2SO_4, 50 kg $Ca(NO_3)_2$ pro Feddan. Schnelle, starke Kaliwirkung mit geringer Nachwirkung
O 2	,,	,,	,,	60—80	,,	hell-braun	,,		
O 3	,,	,,	Hod el Lebimi	0—30	Ssafra	hell-[illegible]	mürbe Brock.	Lockeres Gefüge. Keine Horizonte. Grundwasser [illegible] Tiefe	Dasselbe! Kaliwirkung fraglich
O 4	,,	,,	,,	[illegible]	,,	[illegible]	,,		

Tabelle 39. Mineralogische Untersuchung des Bodens.

Zeichen und Nummer der Probe	mm	Zusammensetzung der Feinerde: Quarz	Orthoklas usw.	Plagioklas	Kaliglimmer	Magnesiaglimmer	Amphibole und Pyroxene	Kalkdetritus	Muschelschalen usw.	Kalkkonkretionen	Eisenkonkretionen	Protozoengerüste und Diatomeen	Org. Reste	Vulk. Glas	Zersetzungsmaterialien	Sec. Fe
O 31	2—0,2	37						2		20	30		1		10	
	0,2—0,02	71	?	10	1	6	1	3						?	3	5
O 32	2—0,2	72			2	1				20			5			
	0,2—0,02	63	?	10	3	10	5	2						?	2	5
O 27	2—0,2	12		?		10		3		3			2			70
	0,2—0,02	55	?	10	2	10	13	5						?		5
O 28	2—0,2	81		?	?	2		2		2			3			10
	0,2—0,02	24	?	20	5	30	10	3						?	3	5
O 29	2—0,2	57		?	?	5		3		10			20			5
	0,2—0,02	27	?	20	5	30	10	3						?		5
O 30	2—0,2	13	?	?	?	10		10		60			5			2
	0,2—0,02	41	?	20	5	15	10	4						?		5
O 19	2—0,2	86				?				10	1		1			2
	0,2—0,02	79	?	5	?	1	2	5							5	3
O 20	2—0,2	82						3		15						?
	0,2—0,02	79	?	7		1	2	3							3	5
O 21	2—0,2	92				?		3		5						?
	0,2—0,02	73	?	10		1	3	5							5	3
O 22	2—0,2	60		?				10	?	30						
	0,2—0,02	80	?	7	?	5	3	2								3
O 23	2—0,2	55		?				20	1	20	1		3			
	0,2—0,02	83	?	5	?	2	2	3							2	3
O 24	2—0,2	44		1				5	?	50						
	0,2—0,02	87	?	5	?	2	2	1								3
O 25	2—0,2	61		1				10	1	20			5			2
	0,2—0,02	76	?	5	?	3	3	3							5	5
O 26	2—0,2	5								95						
	0,2—0,02	69	?	7	?	5	7	2							5	5
O 17	2—0,2	63						10	2	20			5			
	0,2—0,02	51	?	5	?	3	20	3				10			3	5
O 18	2—0,2	9		1						90						
	0,2—0,02	67	?	3		5	10	?							5	10
O 1	2—0,2	62						10		20	1		5			2
	0,2—0,02	73	?	10	?	2	3	2				?			5	5
O 2	2—0,2	35						5	?	60						
	0,2—0,02	65	?	5	2	2	15	1							5	5
O 3	2—0,2	81		1				5	?	10			3			
	0,2—0,02	66		5	1	3	15	2							5	3
O 4	2—0,2	76		1		1		20		1			1			
	0,2—0,02	70	?	3	?	3	15	1							5	3

Tabelle 40. Physikalische Untersuchung des Bodens.

Zeichen und Nummer der Probe	In % Trockensubstanz Mechanische Zusammensetzung: Grobsand I	Feinsand I	Schluff I	Ton I	Grobsand II	Feinsand II	Schluff II	Ton II	Struktur-faktor	Hygroskopisches Wasser	Minimale Wasserkapazität	Totes Wasser für: Mais	Baumwolle	Weizen	Bersim	Kritische Schicht cm	Steighöhe: nach 5 Stunden	nach 25 Stunden	Total	1000 × q	Bei Ausgang von: % feste Teile	% Wasser	% Luft	% Lineare Schrumpf.
O 31	0,3	29,6	32,7	37,4	0,8	58,0	34,2	7,0	81	8,8	46,2		14,6		16,9	44,4	68	220	500	64	47,0	52,0	1,0	10,0
O 32	0,3	36,7	29,0	34,0	1,0	55,0	38,6	5,4	84	8,6	43,9		14,8		17,3	34,0	56	179	385	76	48,0	52,0	—	9,0
O 27	0,9	30,2	33,5	35,4	1,5	64,8	29,1	4,6	87	8,6	47,4		13,8		15,9	38,4	116	279	417	31	43,7	53,0	3,3	11,4
O 28	0,6	47,4	30,4	21,6	1,0	73,4	22,8	2,8	87	7,4	39,3		11,9		13,8	67,3	223	502	714	16	51,0	49,0	—	5,8
O 29	0,9	47,3	26,2	25,6	1,5	77,5	18,2	2,8	89	7,7	39,0		12,3		14,2	67,5	246	516	714	14	48,0	48,0	4,0	7,0
O 30	0,5	31,4	34,2	33,9	0,9	65,7	27,7	5,7	83	8,8	43,2		14,8		17,3	37,0	123	275	400	28	46,0	51,0	3,0	9,8
O 19	5,6	20,3	20,9	53,2	6,5	45,1	33,0	15,4	71	11,0	55,2		18,2		21,1	17,6	51	127	200	73	43	56	1	14,0
O 20	4,7	10,1	23,4	61,8	5,8	21,0	45,2	28,0	55	13,3	78,1		24,6		29,6	2,6	16	27	32	160	40	60	—	15,4
O 21	4,2	30,8	20,8	44,2	6,0	56,0	30,0	8,0	82	9,5	48,6		14,7		16,8	35,5	65	195	400	65	45,0	54,5	0,5	13,5
O 22	2,6	38,3	17,8	41,3	3,3	54,9	31,0	10,8	74	10,5	48,3		19,8		23,7	6,5	17	47	83	235	46,0	54,0	—	13,5
O 23	2,3	13,6	23,0	61,1	3,0	45,0	34,8	17,2	72	11,3	59,3		18,7		21,7	5,7	15	42	77	286	40	59	1	16,5
O 24	1,3	43,4	15,8	39,5	2,5	32,5	42,2	22,8	42	12,9	64,5		22,7		26,7	2,5	8	21	36	484	39	59	2	17,4
O 25	1,3	12,4	29,7	56,6	2,0	49,4	36,4	12,2	78	11,3	50,3		18,1		20,9	10,8	25	71	132	162	40,7	57,3	2	15,0
O 26	1,6	8,6	31,1	58,7	2,2	29,7	47,8	20,3	65	12,6	62,1		21,8		25,6	2,7	?	27	27	?	39,0	61,0	—	15,0
O 17	1,5	19,6	28,3	50,6	2,5	49,9	35,4	12,2	76	10,8	50,6		19,7		23,4	11,8	50	100	133	63	44	55	1	13,0
O 18	2,6	21,4	28,3	47,7	3,2	35,4	52,0	9,4	80	11,6	55,1		29,6		37,1	4,3	15	36	56	243	43	57	—	14,5
O 1	1,6	20,5	28,2	49,7	2,0	54,8	40,0	3,2	94	12,1	48,5		19,4		22,3	15,7	60	126	175	55	48	52	—	10,0
O 2	1,4	19,1	28,3	51,2	1,8	54,2	42,8	1,2	98	12,0	50,7		19,8		22,9	15,9	40	107	185	98	44	54	2	12,5
O 3	3,3	32,3	24,7	39,7	3,6	50,0	35,8	1,6	96	8,3	41,3		13,1		15,0	29,6	97	221	323	36	46	54	—	11,5
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	2,8	[illegible]	[illegible]	[illegible]		[illegible]		[illegible]	31,7	105	235	345	33	51	47	2	9,4

Tabelle 41. Chemische Untersuchung des Bodens (Analysendaten).

Zeichen und Nummer der Probe	p_H in Wasser	p_H in n-KCl	C %	N %	C/N	P_2O_5 Total %	P_2O_5 nach NEUBAUER mg	Zusammensetzung der löslichen Salze in Milliäquivalent: Karbonate	Na	K	Mg/2	Ca/2	Zusammensetzung der Komplexsättigung in Milliäquivalent: H	Na	q_{Na}	K	q_K	Mg/2	q_{Mg}	Ca/2	q_{Ca}	S	q_S	T	V %	K in Milliäquivalent nach NEUBAUER
O 31	8,4	7,6	1,32	0,073	18	0,105	3,76	0,19	0,91	0,07	—	0,47	0,77	0,89	?	0,89	28,5	9,01	1,8	25,71	1,32	36,50	0,76	37,27	98	1,32
O 32	8,4	7,6	1,20	0,059	20	0,087	1,53	0,20	1,32	0,03	—	0,29	0,90	2,77	15,2	0,42	134,7	9,17	2,4	22,36	0,89	34,72	0,64	35,02	98	0,54
O 27	8,0	7,8	1,61	0,106	15	0,191	1,72	0,20	0,56	0,10	—	0,84	0,62	1,02	51,6	2,07	35,6	11,60	2,56	20,27	1,09	34,96	0,79	35,58	98	1,51
O 28	8,4	7,0	1,23	0,042	29	0,119	0	0,16	0,56	0,03	—	0,45	0,69	1,06	109,7	0,81	171,6	9,38	2,26	19,05	1,01	30,30	0,76	30,99	98	1,21
O 29	8,6	7,4	1,30	0,073	18	0,172	1,78	0,15	0,52	0,04	—	0,57	0,58	0,71	77,6	1,69	22,7	8,77	2,0	20,08	0,95	31,25	0,74	31,83	98	1,38
O 30	8,0	7,6	1,34	0,043	31	0,029	0,89	0,18	1,14	0,02	—	0,40	0,73	1,65	11,4	0,23	111,2	9,90	1,8	24,98	1,43	36,76	0,80	37,49	98	0,62
O 19	8,2	7,6	1,33	0,052	25	0,140	3,17	0,24	1,18	0,04	—	0,38	0,70	1,88	6,8	1,43	74,8	12,80	2,2	29,34	1,28	45,45	0,78	46,15	98	1,12
O 20	8,8	7,6	1,18	0,031	38	0,086	0,68	0,28	3,43	0,04	—	0,25	0,75	7,87	4,2	0,63	127,0	15,60	2,6	26,15	1,38	50,25	0,74	51,00	98	0,52
O 21	8,6	7,6	1,21	0,060	20	0,143	0,12	0,20	0,29	0,04	—	0,43	0,82	1,57	?	1,64	100,4	10,42	2,2	24,83	1,56	38,46	0,90	39,28	98	0,95
O 22	8,0	7,6	1,20	0,050	24	0,096	3,44	0,22	2,83	0,08	—	0,53	0,78	4,33	10,5	0,58	228,6	11,31	1,9	24,93	1,63	41,15	0,88	41,93	98	0,72
O 23	8,0	7,6	1,43	0,095	15	0,013	0	0,26	1,18	0,04	—	0,45	0,65	2,35	10,7	1,98	73,0	14,88	3,2	26,66	0,94	45,87	0,74	46,52	99	0,70
O 24	8,2	7,6	1,18	0,045	26	0,108	0,48	0,28	2,34	0,03	—	0,27	0,79	5,80	0,6	0,94	188,2	16,61	2,0	26,90	1,60	50,25	0,70	51,04	98	0,80
O 25	8,0	7,6	1,40	0,080	17	0,038	1,52	0,20	0,79	0,03	—	0,36	0,83	1,99	8,3	1,01	79,4	13,26	2,5	30,47	1,37	46,73	0,82	47,56	98	1,32
O 26	8,0	7,6	1,34	0,050	27	0,081	5,15	0,31	2,03	0,04	—	0,21	0,90	5,95	36,6	0,71	153,5	17,00	2,5	25,12	1,23	48,78	0,70	49,68	98	1,51
O 17	8,6	7,4	1,81	0,100	18	0,165	2,79	0,23	2,18	0,30	0,02	0,67	1,22	2,86	12,6	1,15	89,3	11,80	2,2	26,92	1,71	42,73	0,89	43,95	97	1,37
O 18	8,0	7,6	1,33	0,028	47	0,127	0	0,24	7,90	0,10	0,71	0,98	0,74	6,49	4,3	0,73	298,3	14,90	2,0	21,93	1,68	44,05	0,78	44,79	98	0,39
O 1	8,0	7,6	1,18	0,086	15	0,262	0	0,17	0,80	0,06	—	0,61	0,62	1,30	?	1,56	179,9	14,29	6,40	33,87	2,48	51,02	1,64	51,64	99	1,37
O 2	8,0	7,0	0,99	0,064	15	0,088	0	0,22	1,20	0,06	—	0,45	0,70	1,33	?	0,97	203,5	21,06	10,7	27,40	1,11	50,76	1,38	51,46	99	0,97
O 3	8,2	7,0	1,07	0,069	15	0,108	1,24	0,15	0,24	0,09	—	0,64	1,05	0,30	?	2,10	133,3	13,33	16,1	27,00	1,43	42,73	1,72	43,96	97	1,47
O 4	8,0	7,6	0,89	0,039	23	0,102	0	0,20	0,70	0,13	—	0,83	1,18	0,72	37,4	0,30	196,3	12,79	6,1	29,11	2,42	42,92	1,74	44,12	97	1,12

2 Monate lang hoch überstaut war und seit 20 Jahren zu Baumwolle außerordentlich starke Gaben der Abfalldünger Kufri und Beledi erhalten hat. Seit 10 Jahren wird die in Tabelle 38 beschriebene zweifeldrige Fruchtfolge eingehalten:

1. Jahr: Bersim vom Oktober bis Mai, gefolgt von Brache und 30—60 Tagen Überstauung.

2. Jahr: Zwiebeln und Baumwolle.

Seit 8 Jahren wurde Beledi auf dem Felde, dem die Probe entstammt, nicht mehr gegeben. Die Düngung bestand, außer in gelegentlichen Gaben von Kufri, in 200 kg Chilesalpeter, der vor 4 Jahren durch Kalknitrat in gleicher Höhe ersetzt wurde. Die Erträge der Baumwolle schwanken zwischen 5 und 7 dz, der Zwiebeln zwischen 80—100 dz je Hektar ohne Düngung.

Es handelt sich also um hervorragende Böden, wie Tabelle 39 zeigt, von denen, nach der Intensität der Überstauung und der Kufrigabe in früherer Zeit zu schließen, von vornherein eine Anreicherung sowohl der Komplexe wie der Bodenlösung besonders an Kali zu vermuten ist. Diese Annahme wird durch die Untersuchungsergebnisse bestätigt. Sowohl im Untergrunde wie besonders in der Krume ist der Kaligehalt erheblich höher als bei dem Durchschnitt der Ssafraböden (s. Tabelle 41).

Da die Wasserhaushaltung (Tabelle 42) des Profils geradezu hervorragend ist — das gesamte statische Wasser ist auch dynamisch verfügbar, und zwar in Höhe von 2914 cbm je Hektar bis zur Profiltiefe —, ist die Basenversorgung in jeder Hinsicht äußerst befriedigend. Wenn irgendein Nährstoff hier überhaupt einstweilen zu ersetzen ist, ist es wahrscheinlich die Phosphorsäure, die zwar absolut in großen Mengen vorhanden ist, aber eine ganz auffallend geringe Löslichkeit, auch nach NEUBAUER, besitzt. Daß N-Düngung befriedigenden Erfolg zeigt, ist nach den keineswegs hohen N-Ziffern des Bodens wahrscheinlich. Der Ersatz von Chilesalpeter durch Kalksalpeter kann aber in diesem speziellen Falle, bei dem ohnehin viel zu weiten Ca/Mg-Verhältnis, bei gleichzeitig verschwindenden prozentischen Mengen von Na-Ton im Boden nicht als glücklich bezeichnet werden.

Auch das Profil 29/30 ist ein typischer Ssafraboden, im Gegensatz zu den bisher besprochenen Profilen aber recht wenig produktiv.

Zeichen und Nummer der Probe	Anzurechnende Schichtdicke cm	Minim. Porenvolumen	Wasserbilanz: Mögliches Wasser W. %	M. W. cbm pro Schicht	Summe	Statisch verfügbares Wasser St. %	St. W. cbm pro Schicht	Summe	Dynamisch verfügbares Wasser cbm pro Schicht	Summe	Kali-, Magnesia- und Kalkbilanz (Kiloäquivalent je ha): G_{tr} t	Verfügbares Kali je ha und Saison: aus Lösung	aus Komplex	aus Mineral	Summe pro Schicht	Total	Verfügbare Magnesia je ha und Saison: aus Lösung	aus Komplex	Summe pro Schicht	Total	Verfügbarer Kalk je ha und Saison: aus Lösung	aus Komplex	Summe pro Schicht	Total
O 31	30,0	21,6	41,5	1566		26,9	1015		1015		124	2,60			2,81		—		2,22		17,48		22,66	
	40,0		32,4	1840	4238	17,8	1011	2404	1011	2404	140	3,92	0,45	0,17	4,13	8,06	—	6,66	2,22	6,66	26,32	15,55	31,50	68,16
O 32	20,0	22,4	27,1	832		12,3	378		378		152	0,91			1,12		—		2,22		8,82		14,00	
O 27	30,0	23,2	42,8	1590		29,0	1077		1077		122	3,66			4,34		—		2,35		30,74		35,39	
	40,0		33,8	1884	4740	20,0	1115	2914	1115	2914	137	5,48	0,62	1,42	6,16	12,53	—	7,04	2,35	7,05	46,03	13,95	50,68	110,97
O 28	30,0	25,0	27,7	1266		15,8	722		722		150	1,35			2,03		—		2,35		20,25		24,90	
O 29	30,0	26,4	36,6	1473		24,3	978		978		132	1,58			3,57		—		3,24		22,57		29,83	
	30,0		32,6	1386	4140	20,3	863	2452	863	1841	140	1,68	0,96	3,03	3,67	7,24	—	6,49	3,24	6,48	23,94	14,53	31,20	61,03
O 30	30,0	23,4	28,3	1281		13,5	611		—		151	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—	
O 19	30,0	18,9	48,3	1680		30,1	1047		1047		114	1,37			1,51		—		2,78		13,00		18,41	
	35,2		34,9	1916	4949	16,7	917	2250	806	1902	135	1,90	0,38	—	2,04	3,98	—	8,33	2,78	8,34	18,06	16,24	23,47	49,10
O 20	5,2	20,2	31,2	1353		6,6	286		49		143	0,29			0,43		—		2,78		1,81		7,22	
O 21	30,0	17,3	42,6	1584		27,9	1037		1037		123	1,48			1,59		—		2,47		15,87		20,51	
	10,0		35,8	485	3368	21,1	286	1735	286	1501	134	0,54	0,31	0,01	0,65	3,88	—	7,40	2,47	7,41	5,76	13,91	10,40	45,68
O 22	13,0	16,1	29,0	1299		9,2	412		178		147	1,53			1,64		—		2,47		10,13		14,77	
O 23	11,4	18,0	51,4	1725		32,7	1097		417		110	0,50			0,64		—		2,80		5,64		11,19	
	11,4		38,2	1503	4122	19,5	767	2097	292	767	130	0,59	0,41	—	0,73	1,73	—	8,41	2,80	8,40	6,67	16,65	12,22	30,96
O 24	5,0	17,6	30,7	894		8,0	233		58		148	0,22			0,36		—		2,80		2,00		7,55	
O 25	21,6	20,0	44,5	1617		26,4	959		691		120	0,78			0,89		—		2,79		9,33		14,79	
	21,6		33,3	1868	4811	15,2	853	2178	460	1217	138	0,89	0,33	0,01	1,00	2,31	—	8,38	2,79	8,37	10,73	16,37	16,19	38,08
O 26	5,4	22,6	30,1	1326		8,3	366		66		145	0,31			0,42		—		2,79		1,64		7,10	
O 17	23,6	19,6	44,7	1620		25,0	906		713		120	8,50			8,70		0,57		4,45		18,97		25,98	
	23,6		33,2	1864	4675	13,5	758	1664	446	1159	139	9,84	0,38	0,01	10,04	18,74	0,66	7,76	4,54	8,99	21,98	14,02	28,99	54,97
O 18	8,6	17,9	25,0	1191		—	—		—		157	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—	
O 1	30,0	20,4	43,2	1596		23,8	879		879		122	2,20			2,32		—		1,55		22,33		27,03	
	30,0		34,2	1422	3884	14,8	615	1769	615	1769	137	2,47	0,23	0,01	2,59	6,79	—	4,66	1,55	4,65	25,07	14,10	29,77	74,73
O 2	20,0	20,6	29,0	866		9,2	275		275		147	1,76			1,88		—		1,55		13,23		17,93	
O 3	30,0	20,0	37,2	1485		24,1	962		962		131	3,54			3,67		—		1,11		25,15		29,88	
	30,0		30,4	1332	3589	17,3	758	1959	758	1959	144	3,89	0,26	0,02	4,02	11,98	—	3,34	1,11	3,33	27,65	14,19	32,38	93,55
O 4	20,0	18,1	23,9	772		7,4	239		239		160	4,16			4,29		—		1,11		26,56		31,29	

In der zweifeldrigen Fruchtfolge kommt auf Weizen und Mais im ersten Jahre, nach einmonatiger Überstauung, Zwiebeln und Baumwolle, die sämtlich recht wenig befriedigende Erträge bringen. Die Baumwolle liefert selten über 2 dz, obwohl die vegetative Entwicklung der Pflanzen im Jugendstadium gut ist; aber die Mehrzahl der Kapseln fällt vor der Reife ab.

Der Boden hat, solange er bewirtschaftet wird, als einzige Düngung pro Jahr 25—50 t sogenannten Marog erhalten, ein an Nitraten, meist $NaNO_3$, in verschiedenem Maße angereicherter kalkhaltiger Ton, der sich in einer Mächtigkeit von 30—50 m in Oberägypten findet.

Wie der Marog bezüglich seines Salzgehaltes zusammengesetzt ist, zeigen die nachfolgenden Analysen von DUNSTAN (Tabelle 43):

Tabelle 43. Marog aus Qena.

	I %	II %	III %	IV %	V %	VI %
$NaNO_3$	6,93	4,85	5,65	15,43	11,35	5,05
NaCl.	11,82	14,55	14,80	11,35	14,53	15,41
Na_2SO_4	14,64	16,61	3,55	5,95	7,51	3,02
$CaSO_4$	2,02	4,20	2,02	2,38	1,75	2,09
$MgSO_4$	0,87	0,48	0,15	0,18	0,18	0,27

Rund 30% des Marog sind also Natronsalze neben einem geringen Gehalt an Gips und einem verschwindenden Gehalt an Magnesiumsulfat.

Durch die oben erwähnte mittlere Menge Marog von rund 40 t je Hektar sind also dem Profil alljährlich 2 t $NaNO_3$ und im ganzen rund 12 t Natronsalze zugeführt worden.

Abgesehen von der ganz einseitigen und darum an sich schon bedenklichen Stickstoffzufuhr konnte auf einem so leichten Boden, wie ihn die oberste Profillage O 29 repräsentiert, die riesige Na-Zufuhr mit ihrer stark peptisierenden Wirkung nur eine Folge haben: Zu einer Anhäufung des Na konnte es zwar nicht kommen, aber die Krume mußte als Ergebnis der Peptisation des Tons durch Na an Tonteilen stark verarmen, wie es die Tabelle 40 auch zeigt. Der nach unten gewaschene Ton und die bei der ziemlich stark alkalischen Reaktion des Bodens ebenfalls gelöste humose Substanz aber mußte sich in ver-

hältnismäßig geringer Tiefe zu einem eine für das Wurzelwachstum unübersteigliche Grenze bildenden Illuvialhorizont verdichten.

Tatsächlich tritt bei 50 cm Tiefe ein harter, dunkel gefärbter Illuvialhorizont auf, den keine Wurzel mehr durchdringt.

Der Boden ist dadurch gegenüber den sonstigen Ssafraböden auf einen Bruchteil des nutzbaren Wurzelraumes verflacht, was um so bedenklicher für Bassinbewässerung ist, als die sandige Krumenschicht besonders große Verdunstungsverluste erleiden muß. Gegenüber 2914 cbm beim vorhergehend besprochenen erstklassigen Ssafraboden enthält das Profil 29/30, das nur bis 60 cm Tiefe gerechnet werden kann, nur 1841 cbm verfügbares Wasser, also von vornherein rund 1000 cbm weniger, was naturgemäß die Erntehöhe beim Bassinbetrieb erheblich drücken muß. Daß auch die Nährstoffversorgung speziell bezüglich des Kalis dadurch erheblich kärglicher ist, zeigt Tabelle 42. Allerdings würde das pro Saison verfügbare Kali immerhin noch für 1—2 Baumwollernten von sehr erheblich größerem Betrage, als sie heute erzielt werden, genügen. Die außerordentlich geringe Löslichkeit der an sich reichlichen Phosphorsäure in der Krumenschicht legt es im Zusammenhange mit dem Kapselabfall nahe, bei diesen Böden an hochgradigen P_2O_5-Mangel zu denken, und läßt Versuche in dieser Richtung unbedingt angezeigt erscheinen, wobei auf Magnesiabeidüngung Wert zu legen sein wird. Erst nach Behebung des wahrscheinlichen P_2O_5-Mangels dürfte eine Volldüngung zum Erfolge führen. Die weitere Verwendung des Marog im bisherigen Umfange ist ganz entschieden zu widerraten.

Ein weiterer typischer Ssafraboden, der zu den Rekordböden Oberägyptens gehört, ist dann noch das Profil O 3/4. Die Baumwollernten steigen hier stellenweise über 10 dz bei Ashmouni und Zagora.

Der Boden ist sehr wahrscheinlich an aufnehmbarer P_2O_5 nicht sehr reich. Bei der verhältnismäßigen Größe der Mineralreserve (s. Tabelle 39) an Glimmer ist es als fraglich zu bezeichnen, ob einstweilen wenigstens Kalidüngung neben P_2O_5 wirksam sein kann. Aufmerksamkeit wird auch hier der eventuellen Magnesiazufuhr zu widmen sein.

Leider fehlen Angaben über etwa auf diesen Böden gegebene Düngung und ihre Auswirkung.

Dafür sind sie für das Profil O 1/2 vorhanden, das, als Übergang von Ssafra- zu Kahlaböden, als ein mittelschwerer Lehm bis bräun-

licher Ton bezeichnet wird und das Rekordfeld der Pflanzung mit Ernten bis zu 12 dz/ha Ashmouni-Baumwolle darstellt, die sich allerdings nur bei starker Düngung erzielen lassen. Diese besteht je Hektar aus 26 t Baladi, 120 kg Kalksalpeter, 120 kg Superphosphat und 175 kg K_2SO_4. Aussetzen der Düngung hat schnellen Ernterückgang zur Folge. Nachwirkung der Kalidüngung ist nur in sehr geringem Grade zu spüren.

Physikalisch entspricht der Boden als Schluffton durchaus der einheimischen Einschätzung. Das Profil ist, von der etwas größeren Plastizität des Untergrundes abgesehen (Tabelle 40, Lineare Schrumpfung), von einer bemerkenswerten Gleichmäßigkeit und besitzt (Tabelle 42) für einen verhältnismäßig so schweren Irrigationsboden einen ausgezeichneten Wasserhaushalt.

An Pflanzennährstoffen ist, absolut betrachtet, der Boden verhältnismäßig reich, namentlich soweit es sich um die Krumenschicht handelt. Aber wie aus Tabelle 41 und 42 hervorgeht, ist die Löslichkeit der Phosphorsäure gering und das verfügbare Kali ist in einer Menge vorhanden, die eben zur Deckung einer maximalen Ernte ausreicht. Die Reserven aber fließen mit nur 0,23 Kiloäquivalent äußerst spärlich. Daß Unterlassung der Kalidüngung nach Verbrauch des löslichen Bestandes schnell zu Ernterückgängen führt, wie der Besitzer ausdrücklich betonte, ist also in vollem Umfange zu verstehen. Der weit über 1 liegende q_S-Wert, der den Boden als sehr kaliaktiv charakterisiert, läßt es aber auch ohne weiteres einsehen, worauf das besonders hervorgehobene Ausbleiben stärkerer Nachwirkung gegebener Düngung beruht. Es bleibt eben der größte Teil der gegebenen Düngung in löslicher Form im Boden und kommt sofort zur Wirkung, ohne daß es zur Bildung nennenswerter Reserven kommt.

Genau das entgegengesetzte Verhalten: starke Nachwirkung bei zwar merkbarer, aber keineswegs besonders hoher sofortiger Wirkung gegebener K-Düngung zeigen die beiden ebenfalls den Kahlaböden zuzurechnenden Profile 19/20 und 21/22.

Es handelt sich um Böden, die in kombinierter Bassin- und Hilfsbewässerung bearbeitet werden und die, von dem Besitzer selbst in geradezu mustergültiger Weise bewirtschaftet, mit zu den produktivsten Böden Oberägyptens gehören.

Daß dieser gute Ruf berechtigt ist, geht aus den Daten der Tabelle 42 hervor, die eine ganz hervorragende Wasserhaushaltung auf beiden Profilen, besonders aber auf dem etwas schwereren Profil 19/20 aufweisen. Chemisch zeigt sich, am Verbrauch einer Ernte von 12 dz Baumwolle gemessen, sofort das Düngebedürfnis für P_2O_5, stark für Kali, und — zwar aus den Analysen nicht zu entnehmen, aber als nahezu selbstverständlich vorauszusetzen — auch für Stickstoff, dessen Befriedigung bei den vorzüglichen physikalischen Eigenschaften der Böden zum sicheren Erfolge führt.

Die starke Nachwirkung der Kalisalze findet in den erheblich 1 unterschreitenden q-Werten ihre Begründung. Die Böden sind ausgesprochen kaliinaktiv.

Über die zweckmäßigste Höhe der P_2O_5- und N-Gabe läßt sich nichts Genaues nach den Analysenzahlen aussagen. Das verfügbare Kali der beiden Profile reicht nur für rund 7—8 dz/ha Baumwollernte aus, so daß auch unter Einrechnung des K des Irrigationswassers die gegebene K-Düngung etwas zu schwach erscheint und von ihrer Steigerung eine Erntevermehrung zu erwarten ist. Zweckmäßig wird auch hier bei der Schwere der Böden, die eine Vermehrung ihrer kritischen Schichtdicken im Untergrunde, namentlich im Falle 19/20, durchaus vertragen können, wegen seiner starken Tiefenwirkung in dieser Richtung dem Kalisalpeter vor dem Kalksalpeter der Vorzug zu geben sein, besonders da dieser in sich die Stickstoff- und die Kaliwirkung vereinigt.

Ein ganz typischer Kahlaboden ist das Profil 17/18.

Wie die Tabellen ausweisen, handelt es sich um einen an der Grenze des Tones stehenden Schluff, der von 70 cm an kein statisch verfügbares Wasser wegen zu hohen Salzgehaltes des Untergrundes mehr aufweist und damit offenbar eine Übergangsbildung zu den Böden des Deltas darstellt.

Trotz dieser Beschränkung des Wurzelraumes und der nutzbaren Bodentiefe ist der Wasserhaushalt des Bodens noch ausgezeichnet. Chemisch ist der Boden sogar sehr reich, so daß die darauf erzielten Baumwollernten von über 10 dz Lint je Hektar bei der äußerst sachgemäßen Bewirtschaftung des Betriebes nicht überraschen können. Es wird von der in Tabelle 38 angegebenen Düngung, die alljährlich gegeben wird, eine gute Wirkung berichtet. Aus den Analysen der

Probestellen ließe sich eine solche mindestens für den Augenblick, soweit es das Kali angeht, nicht ableiten, da hier zwar nur eine relativ geringe Reserve, aber auffallend viel lösliches Kali vorhanden ist. Dieser Zustand ist aber deswegen kaum als maßgebend für das ganze Gelände zu betrachten, weil der bemusterte Schlag unmittelbar vorher eine sehr starke Kufridüngung und damit eine große Kalizufuhr erhalten hatte, wodurch sich die starke Anreicherung der Bodenlösung, besonders des Obergrundes, ohne weiteres erklärt. Auch auf diesen Böden dürfte es sich dringend empfehlen, die Kali- und Stickstoffdüngung in Form des Kalisalpeters miteinander zu vereinigen.

Die beiden Profile O 23/24 und O 25/26 gehören zum Typ der als „Sodaböden" bezeichneten schwersten Böden Oberägyptens. Beide repräsentieren sich physikalisch als verhältnismäßig schwere Tonböden mit im Vergleich zu den Kahla- und natürlich erst recht zu den Ssaftraböden bereits beschränkter Beweglichkeit des Bodenwassers, die besonders für das erste Profil gilt, wo infolgedessen die Wasserhaushaltung nur noch als mittelmäßig zu bezeichnen ist.

Chemisch sind beide Profile trotz ihres verhältnismäßigen absoluten Reichtums durch eine starke Reaktion auf Düngung charakterisiert, bei welcher bei Kalidüngemitteln eine besonders ausgeprägte Nachwirkung ins Auge fällt.

Diese praktische Erfahrung wird durch einen Düngungsversuch noch besonders belegt, der bei Ashmouni zu den folgenden Resultaten führte:

O	N	NP	NK	PK	KPN
7,6	8,67	8,63	8,98	9,15	9,84 dz/ha

wobei N = 220 kg Chilesalpeter, P = 440 „ Superphosphat, K = 160 „ schwefelsaures Kali } je ha bedeutet.

Gewirkt hat jede Düngung, aber erst die Kombination der drei Kernnährstoffe hat durchschlagenden Erfolg gehabt, wobei der Hauptanteil der Steigerung ohne jeden Zweifel auf das Kali entfällt.

In Bestätigung der übereinstimmend von den Besitzern berichteten Nachwirkungen liegen laut Tabelle 41 auch hier alle q-Werte der be-

treffenden Böden zum Teil weit unter 1. Auch hier liegen kaliinaktive Böden vor, die starker Gaben bedürfen.

Unter Berücksichtigung des Umstandes, daß der Untergrund dieser beiden Profile eine sehr geringe Wasserbeweglichkeit besitzt, die sich durch die verwendete Kalkgabe schwerlich in absehbarer Zeit günstig beeinflussen läßt, wäre auf diesen Böden die kombinierte Anwendung von Gips und Kaliumnitrat als Ergänzung einer Phosphatdüngung, die trotz des geringen Erfolges im obigen Versuch auf die Dauer schwerlich zu umgehen sein wird, anzuraten.

Mit der Einführung der laufenden Bewässerung ist aber der Bedarf der Kulturen gegenüber der Bassinbewässerung nicht etwa vermindert, sondern ganz außerordentlich gestiegen.

Es ist also in Ägypten durch die Einführung der laufenden Bewässerung nicht nur eine ganz neue Boden- und Wasserfrage, sondern vor allem auch eine Düngerfrage geschaffen, wie sie in der heutigen Schärfe bei der Bassinbewässerung nicht existierte.

g) Ramlijaböden (Tabellen 44—46).

Die größte Ausdehnung und Wichtigkeit, speziell für den Anbau von Fruchtbäumen, besitzen die Sandböden in der Provinz Charkieh, wo mehr und mehr der Wüstenrand zur Kultivierung herangezogen wird.

Ein Bild von der Gestaltung des Ausgangsmaterials der Wüste gibt unterhalb des Steinpanzers D 76 und das Profil D 92—94.

Physikalisch sind die Böden, wie Tabelle 45 zeigt, ganz leichte Sande mit verschwindender Hygroskopizität und einer 10% im Mittel nur selten erreichenden minimalen Wasserkapazität. Der Betrag an totem Wasser ist absolut gering, relativ im Verhältnis zur minimalen Wasserkapazität aber recht bedeutend. Es liegt auf der Hand, daß diese Böden außerordentlich zur Dürre neigen müssen und nur bei intensiver Bewässerung kulturfähig sind. Da allerdings sichert ihre sehr beachtenswerte Wasserbeweglichkeit, als kritische Schichtdicke gemessen, die volle Ausnutzung des gegebenen Wassers bis zu jeder denkbaren Wurzeltiefe.

Sehr interessant — und für ihre Bewertung als Kulturmedien sehr irreführend — ist die chemische Zusammensetzung dieser unberührten Wüstenböden.

Tabelle 44. Bodenbeschreibung: Ramlijaböden.

Zeichen und Nummer der Probe	Land	Provinz	Ort	Tiefe des Musters cm	Inländischer Name der Bodenart	Farbe	Verhalten des Bodens beim Trocknen	Bemerkungen über den Bau des Profils und Grundwasserstand	Bemerkungen über Ertragsklasse, Fruchtfolge, Düngung evtl. über natürliche Vegetation
D 76	Ägypten	Charkieh	Salhieh	0—30	Ramlija	gelb-braun	sandig	Oberfläche der Wüste bei Salhieh, unbekannt tief	Wüste ohne jede Vegetation
D 74	,,	,,	Salhieh, Hod el Gezira	0—30	,,	grau-braun	völlig zerfallend	Bis 30 cm humos durch Gründüngung usw. angereicherter Wüstensand, dann leichttonig, in 120 cm Tiefe infiltriert. Grundwasser in 1,5 m Tiefe.	Mit starker Natur- und Kunstdüngung erfolgreiche Fruchtkultur möglich, zum Teil glänzender Kunstdüngungserfolg. Mango, Citrus, Wein
D 75	,,	,,	,,	100—120	,,	gelb-braun	,,		
D 77	,,	,,	,,	0—30	,,	,,	,,	Oberflächenschicht ausgefülltes Birkeh, Brackwasser in 70 cm Tiefe	Außer Melonen und Kürbis sterben alle Gewächse ab
D 92	,,	,,	Bilbeis	0—40	,,	,,	,,	Sandoberfläche der Wüste mit Steinpanzer, dann bis in unbekannte Tiefen unter teilweiser Farbänderung Wüstensand	Wüste
D 93	,,	,,	,,	150—170	,,	,,	,,		
D 94	,,	,,	,,	250—300	,,	,,	,,	Typisch für Ostwüste, jetzt sehr für Fruchtbäume geschätzt	
D 95	,,	,,	,,	0—30	,,	,,	,,	Wie 92, aber seit 3 Jahren in Kultur und bewässert	Getreide und Hülsenfrüchte gut stehend
B 7	,,	,,	Bahri 6	0—15	,,	braun	,,	Unter humoser Krumenschicht Lage bröckeligen Ca-Karbonates evtl. mit Gips von 10 cm Stärke. Dann steinreicher lehmiger Sand, frische Bewurzelung über 1 m. Darunter Kies	Süße Orangen, 1926, eben erst tragend. Bestand sehr gut
B 8	,,	,,	,,	15—50	,,	,,	,,		
B 9	,,	,,	Bahri 8	0—20	,,	grau-braun	,,	Oberfläche noch kaum verändert, wenig humos, von 20—60 cm graue Kieslage mit Lehmstreifen, dann brauner frischer Sand, sehr fest gelagert	Süße Orangen, nur halbe Baladigabe, N-Mangel. Bestand schlecht
B 10	,,	,,	,,	60—100	,,	,,	,,		

Ihre Reaktion ist mit durchschnittlich 9,00 p_H stark alkalisch. Der Gehalt an Kohlenstoff ist relativ hoch, der Stickstoffgehalt außerordentlich gering. Er besteht, wie die Untersuchungen auch von anderer Seite ergeben haben, zum großen Teil aus Nitraten, deren Bildung einstweilen noch ungeklärt ist. Der Phosphorsäuregehalt ist gering.

Daß die Gesamtmenge wasserlöslicher Basen sehr gering ist, kann nicht verwundern. Äußerst beachtenswert ist aber ihre Zusammensetzung und noch mehr die der absolut kleinen Komplexe.

Das Kali tritt im Vergleich mit allen bisher behandelten Böden sehr stark in den Vordergrund. In löslicher Form ist unter Einrechnung der großen Wasserbeweglichkeit die absolute Kalimenge sehr bedeutend. Aber es wäre völlig falsch, deswegen die Böden als reich zu betrachten.

Diese verhältnismäßige Anhäufung löslichen Kalis ist nur ein Ergebnis der

Tabelle 45. Physikalische Untersuchung des Bodens: Ramlija.

Zeichen und Nummer der Probe	In % Trockensubstanz Mechanische Zusammensetzung								Struktur-faktor	Hygroskopisches Wasser	Minimale Wasserkapazität	Totes Wasser für		Kritische Schicht	Steighöhe				Bei Ausgang von			
	Grobsand I	Feinsand I	Schluff I	Ton I	Grobsand II	Feinsand II	Schluff II	Ton II				Mais, Baumwolle, Weizen	Bersim	cm	nach 5 Stunden	nach 25 Stunden	Total	1000 × *b*	% feste Teile	Wasser %	Luft %	Lineare Schrumpf. %
D 76	93,0	2,8	0,8	3,4	94,2	4,6	—	1,2	65	0,5	7,1	1,4	1,8	42,3	320	407	435	4	62	10	28	—
D 74	73,2	13,7	4,1	9,0	75,0	18,7	1,8	4,5	50	1,8	13,0	3,1	3,7	17,0	130	166	178	11	64	18	18	—
D 75	79,2	14,1	2,1	4,6	79,0	19,5	0,5	1,0	78	0,7	9,9	1,6	1,9	44,1	325	410	445	5	51	15	34	—
D 77	75,1	18,3	0,6	6,0	76,0	18,8	2,2	3,0	50	1,1	12,5	5,1	6,9	17,9	120	170	189	15	64	12	24	—
															305	387	417	5,0				
D 92	76,0	15,4	1,8	6,8	77,2	21,1	0,2	1,5	78	1,0	10,0	2,2	2,7	40,4	320	402	435	4,0	65	15	20	—
															237	267	278	3,0				
D 93	81,5	14,0	2,2	2,3	81,5	18,7	0,8	1,0	57	0,4	5,0	1,1	1,4	27,1	247	277	286	3,0	62	16	22	—
															185	220	233	51				
D 94	83,4	12,0	0,2	4,4	84,5	17,4	—	0,8	82	0,5	9,0	1,2	1,5	20,9	195	230	244	5,0	62	15	23	—
D 95	61,4	25,7	5,4	7,5	62,1	27,3	8,0	2,6	65	1,7	13,0	3,4	4,1	32,9	210	300	345	10	68	20	12	—
D 7	45,0	36,9	7,5	10,6	45,5	39,7	11,0	3,8	64	2,0	17,4	3,4	3,9	50	278	447	526	8,5	65	25	10	1,0
D 8	57,3	25,7	8,8	9,0	58,0	26,4	15,0	0,6	93	2,2	16,3	3,7	4,4	33	260	320	345	4,5	68	23	9	0,5
D 9	64,7	20,6	6,6	8,1	65,1	22,0	9,2	3,7	54	1,7	12,1	3,2	3,7	32	240	305	333	6,0	70	19	11	0
D 10	62,1	21,6	2,6	13,7	62,5	28,4	9,1	—	100	2,4	15,0	4,4	5,3	40	300	390	417	4,5	68	25	7	0,9

Tabelle 46. Chemische Untersuchung des Bodens (Analysendaten). Ramlija.

Zeichen u. Nummer der Probe	p_H in Wasser	p_H in n-KCl	C %	N %	C/N	P_2O_5 Total %	P_2O_5 n. NEUBAUER mg	Zusammensetzung d. löslich. Salze in Milliäquivalent: Karbonate	Na	K	Mg/2	Ca/2	Zusammensetzung der Komplexsättigung in Milliäquivalent: H	Na	q_{Na}	K	q_K	Mg/2	q_{Mg}	Ca/2	q_{Ca}	S	q_S	T	V %	K in Milliäquivalent n. NEUBAUER
D 76	9,0	8,6	0,46	?	—	0,01	1,7	0,21	0,41	0,05	—	0,27	—	0,14	?	0,18	?	0,55	?	0,93	?	1,80	?	1,80	100	0,90
D 74	8,6	8,0	0,53	0,04	13	0,07	3,3	0,20	0,27	0,05	—	0,40	0,44	0,63	396,8	0,37	143,7	2,41	14,02	2,84	?	6,25	2,56	6,69	94	1,03
D 75	9,0	8,6	0,42	?	—	0,02	0,8	0,21	0,37	0,01	—	0,24	0,28	0,17	83,3	0,04	?	0,85	?	1,34	?	2,40	?	2,68	90	0,75
D 77	10,0	9,4	0,26	?	—	0,018	1,9	0,74	2,49	0,01	—	0,16	—	1,09	?	0,25	36,2	0,66	15,88	1,62	16,40	3,62	3,68	3,62	100	0,53
D 92	9,0	8,6	0,43	?	—	0,046	2,2	0,23	0,31	<0,18	—	0,29	0,31	0,25	82,8	0,57	32,0	0,77	?	1,21	?	2,80	?	3,11	90	0,57
D 93	9,0	8,6	0,36	?	—	0,02	0,6	0,18	0,18	0,17	—	0,29	—	0,30	?	0,24	90,9	0,38	?	0,28	?	1,20	?	1,20	100	0,33
D 94	8,8	8,6	0,37	?	—	0,01	1,0	0,18	0,20	0,14	—	0,32	—	0,29	?	0,32	139,9	0,45	?	0,54	?	1,60	?	1,60	100	0,74
D 95	8,6	8,6	0,87	0,04	22	0,066	5,0	0,30	0,29	0,16	0,15	0,49	—	0,09	?	0,65	?	2,97	26,88	3,38	6,00	7,09	5,12	7,09	100	1,00
B 7	8,8	8,0	0,55	0,04	14	0,068	—	0,25	0,22	0,05	—	0,41	0,51	0,09	?	0,60	65,1	2,61	8,88	4,31	?	7,60	?	8,11	94	0,92
B 8	8,6	8,0	0,33	0,01	33	0,037	1,85	0,18	0,12	0,05	0,14	0,36	0,35	0,15	333,3	0,57	57,0	2,37	8,40	5,53	?	8,62	0,58	8,97	96	0,70
B 9	8,6	8,2	0,42	0,02	21	0,034	3,84	0,23	0,33	0,09	?	0,33	0,39	0,20	1500,0	0,82	60,6	1,62	2,42	3,46	?	6,10	0,56	6,49	94	1,01
B 10	8,8	8,0	0,24	<0,01	24	0,041	0,65	0,15	0,23	0,08	0,28	3,90	0,37	0,12	1666,7	0,24	90,9	0,64	?	8,71	0,16	9,71	0,22	10,08	96	0,56

jahrtausendelangen Verwitterung des Bodens an Ort und Stelle, das niemals irgendwie nennenswert durch Auswaschung beeinträchtigt worden ist. Schon die erste Irrigation muß bei der großen Durchlässigkeit des Bodens erhebliche Mengen dieses ursprünglichen Reichtums nutzlos in den Untergrund spülen, und da der Boden keinerlei nennenswerte Reserve weder in seinen Komplexen noch in etwaigen Mineralien enthält, muß er schnell an Kali verarmen, so daß der auf allen diesen Böden bereits nach 1—2 Ernten eintretende hochgradige K-Bedarf eine Selbstverständlichkeit ist. Eine Illustration dafür ist D 95, welches D 92 entspricht mit dem Unterschiede, daß dieser Boden von Eingeborenen seit 3 Jahren schwach bewässert und mit Getreide und Hülsenfrüchten bebaut ist. In dieser kurzen Zeit ist der Prozentsatz des Kaligehalts der Bodenlösung von 23,6 auf 14,7%, der Gehalt der Komplexe von 20,4 auf 9,2% gesunken, allerdings ohne daß einstweilen eine absolute Abnahme zu konstatieren ist, die sich auch zunächst nur in der nicht untersuchten Wurzelzone

schon bemerkbar machen könnte. Außerdem ist eine starke Stallmistdüngung erfolgt.

In welcher Richtung sich diese Wüstensande durch Kultur in kurzer Zeit verändern, wird eindringlich durch das Profil 74/75 illustriert, das in unmittelbarer Nachbarschaft von D 76 unter einer erstklassigen Zitruspflanzung entnommen ist.

Das Grundwasser steht hier in 1,5 m Tiefe an. Der ganze Boden ist mit Nilschlamm überdeckt und außerdem alljährlich mit Stallmist und mit sehr starken Gaben einer kombinierten NPK-Düngung versehen worden.

Durch diese Behandlung hat sich die Wasserkapazität der Krume unter Abnahme der Wasserbeweglichkeit nahezu verdoppelt und ist auch im Untergrunde noch merklich gestiegen. Chemisch hat sich die Sorptionskapazität der Krume mehr als verdreifacht. Eine Anreicherung an sämtlichen Nährstoffen ist unverkennbar, soweit es sich um die Komplexe handelt. Als ausreichend versorgt ist aber namentlich der Untergrund, also die Wurzelzone, noch lange nicht zu bezeichnen, und ganz besonders erscheint noch der Stickstoff im Minimum.

Die benachbarte Probe 77 entstammt einem mit Wüstensand aufgefüllten ehemaligen Ufersumpfe, in welchem das Grundwasser noch in 40 cm Tiefe ansteht, und zwar handelt es sich um brackiges Grundwasser. Daß unter diesen Umständen dort außer den gegen Brackwasser wenig empfindlichen Cucurbitazeen andere Gewächse nicht gedeihen, kann bei mehr als 50% totem Wasser nicht verwundern.

Die Profile B 7, 8, 9 und 10 sind entnommen auf einer Zitruspflanzung, die auf dem vom Flugsand überdeckten Abfall der Wüstentafel angelegt ist, deren Geröllagen und Kiesschichten mehr und mehr zutage treten. Die Bestände zeigen, wie die Beschreibung angibt, sehr verschiedene Qualität.

Die Bewässerung besteht in 12500 cbm Wasser je Hektar in 25 bis 30 Einzelbewässerungen. Alle Jahre erhalten die Böden von 7/8 100 cbm Stallmist je Hektar bzw. 25 cbm Stallmist und 25 cbm Latrinendünger, während das Profil 9/10 bisher jährlich nur die halbe Düngung erhalten hat und in seinen Beständen entsprechend abfällt.

Aus den Analysendaten geht sowohl physikalisch wie chemisch der außerordentlich starke Einfluß der enormen gegebenen Düngung ohne weiteres hervor. Überall ist die Oberfläche, die, wie das benachbarte Profil D 92/94 zeigte, früher kaum vom Untergrunde zu unterscheiden war, bezüglich ihrer wasserhaltenden Kraft und ihrer Sorptionskapazität sehr weitgehend verbessert, wobei sich die Zunahme in erster Linie auf die zweiwertigen Basen erstreckt. Der tiefen Wurzelverbreitung der Orangen entsprechend, zeigen sich die Ertragsunterschiede außer von dem jeweiligen Reichtum der Krume sehr wesentlich auch von dem Nährstoffreichtum des Untergrundes abhängig, und zwar scheint bei den weniger guten Beständen außer allgemeinem Nährstoffmangel im Untergrunde Magnesiamangel eine Rolle zu spielen. Es ist sicher als kein Zufall zu betrachten, daß gerade bei den Böden der schlechtesten Parzelle B 9/10 der Gehalt an leichtbeweglichem Kalk gegenüber nur 0,9 Milliäquivalent Mg auf rund 13, d. h. das 15fache, in die Höhe schnellt. Der Kaligehalt ist, wie der Düngung nach zu erwarten war, wesentlich auf die Krume konzentriert, und in noch viel schärferem Grade gilt das von dem Stickstoffgehalt, der bei der schlechtesten und am wenigsten gedüngten Parzelle sehr gering ist.

h) Die Tammböden des Deltas (Tabellen 47—49).

Ein wesentlich anderes Bild als die Sandböden bieten die sogenannten Tammböden, die als alte Uferwälle des Nils zu betrachten sind, wo sich der gröbere Anteil der Sedimente abgesetzt hat.

Die Tammböden sind in neuester Zeit in besonderem Maße für den Anbau von Kartoffeln und Leguminosen bevorzugt, ferner finden sich auf ihnen viele Bananenpflanzungen. Überall wird mit teilweise ganz enorm starken Düngungen gearbeitet, die sich sehr gut rentieren.

Es handelt sich um Feinsand- und Schluffböden mit einem rund 30% betragenden Tongehalt, der jedoch fast gänzlich koaguliert ist. Die minimale Wasserkapazität ist im Verhältnis zum toten Wasser recht hoch und als gut zu bezeichnen. Ganz hervorragend ist die Wasserbeweglichkeit dieser Böden, die die Ausnutzung der ganzen in ihrem Aufbau bemerkenswert gleichmäßigen Profile bis in jede denkbare Wurzeltiefe ermöglicht.

Chemisch ist an den Böden bei ausgesprochener, aber für die

angebauten Gewächse durchaus ertragbarer alkalischer Reaktion die harmonische Ausbildung der Bodenlösung und Bodenkomplexe in den Krumenschichten bemerkenswert, die aber allerdings zum großen Teil als sekundär durch Düngung und Melioration erzeugt zu betrachten ist; denn wie die Tabelle 49 zeigt, ist der Untergrund bei allen Profilen wesentlich ärmer als die Krumenschichten. Der Anteil des Na an den Komplexen, die für so leichte Böden eine sehr erhebliche Größe besitzen (im Durchschnitt 32,8 *T*), ist sehr gering. Eine Salzgefahr besteht bei diesen Böden in keiner Weise, weder in physikalischer noch in chemischer Richtung, was durchaus mit der praktischen Erfahrung, daß auf diesen Böden Bewässerungsschäden nicht auftreten, übereinstimmt.

Tabelle 47. Bodenbeschreibung (Tammböden).

Zeichen und Nummer der Probe	Land	Provinz	Tiefe des Musters cm	Farbe	Verhalten des Bodens beim Trocknen	Bemerkungen über den Bau des Profils und Grundwasserstand	Bemerkungen über Ertragsklasse, Fruchtfolge, Düngung, evtl. über natürliche Vegetation
D 27	Ägypten	Beheira	0—70	braun	krümelig	Junges Nilsediment, oberflächlich sehr locker gelagert, von vielen Lufthöhlen durchsetzt	Besonders zur Kartoffel- und Leguminosenkultur benutzt. Zugabe von 325 kg K_2SO_4 zum Stalldünger ergibt mit Sicherheit bis 100% Ernteerhöhung bei Kartoffeln, gute Nachwirkung
D 28	„	„	70—100	„	„		
D 62	„	Gharbieh	0—10	„	„	Ursprüngliches, nur von Fellachen unter Verwendung von etwas Baladi bestelltes Tammprofil. Unter 10 cm leicht humoser Schicht folgt bis 30 ein B-Horizont, darunter Nilschlamm, der in 100—120 cm leicht reduziert ist. Wurzeln nur bis 30 cm	Schlecht stehende Baumwolle
D 60	„	„	10—30	„	„		
D 61	„	„	100—120	„	„		
D 57	„	„	0—35	„	„	Durch enorme Düngung verändert. Unter 35 cm vorzüglicher humoser Krume gut durchlüfteter Nilschlamm, der in 100—120 cm einen B-Horizont zeigt	Rekord-Bananenanlage. Düngung jährlich je ha: 50 t Baladi, 50 t Kompost aus Bananenresten und Kalk, 750 kg getrocknetes Blut, 1000 kg $NaNO_3$, 1000 kg K_2SO_4, 2000 kg Superphosphat in 3 Raten. Unterkultur von Bersim, der mit 2,5 t Kalk zusammen untergepflügt wird. Krankheiten bei 12jährigen Beständen unbekannt
D 58	„	„	35—100	„	„		
D 59	„	„	100—120	„	„		

Tabelle 48. Physikalische Untersuchung des Bodens.

Zeichen und Nummer der Probe	In % Trockensubstanz Mechanische Zusammensetzung								Strukturfaktor	Hygroskopisches Wasser	Minimale Wasserkapazität	Totes Wasser für				Kritische Schicht	Steighöhe		Bei Ausgang von			
	Grobsand I	Feinsand I	Schluff I	Ton I	Grobsand II	Feinsand II	Schluff II	Ton II				Mais	Baumwolle	Weizen	Bersim	cm	Total	1000 × q	feste Teile %	Wasser %	Luft %	Lineare Schrumpf. %
D 27	1,6	50,4	23,4	24,6	1,9	65,9	26,6	5,6	77	7,5	34,0		12,1		14,0	63,6	667	11	53	46	1	6,5
D 28	0,9	46,7	27,0	25,4	1,6	68,3	25,4	4,7	81	7,8	36,4		12,9		15,0	63,8	667	9,5	52	48	—	6,5
D 62	0,8	40,2	26,4	32,6	1,1	79,9	16,6	2,4	93	7,7	35,5		13,2		15,4	63,0	666	15	50	43	7	8,0
D 60	0,5	41,2	25,1	33,2	1,0	67,1	27,0	4,9	85	8,3	36,3		14,4		16,9	48,5	526	30	48	44	8	9,0
D 61	0,3	19,1	39,8	40,8	0,9	50,0	40,8	8,3	80	9,5	47,3		15,7		18,3	30,5	333	35	44	46	10	12,0
D 57	1,1	51,0	19,3	28,6	1,8	69,2	22,2	6,8	76	7,1	39,5		11,7		13,6	51,8	555	22	50	45	5	6,0
D 58	0,2	63,6	17,0	19,2	0,6	83,4	11,4	4,6	76	7,3	31,5		12,1		14,0	73,4	769	11	52	40	8	3,0
D 59	0,2	32,4	31,8	35,6	0,8	62,0	31,2	6,0	83	9,4	43,5		15,8		18,4	42,8	476	51	47	51	2	11,0

Tabelle 49. Chemische Untersuchung des Bodens (Analysendaten).

Zeichen und Nummer der Probe	p_H		C	N	C/N	P_2O_5		Zusammensetzung der löslichen Salze in Milliäquivalent					Zusammensetzung der Komplexsättigung in Milliäquivalent													V	K in Milliäquivalent nach NEUBAUER
	in Wasser	in n-KCl	%	%		Total %	nach NEUBAUER mg	Karbonate	Na	K	Mg/2	Ca/2	H	Na	q_{Na}	K	q_K	Mg/2	q_{Mg}	Ca/2	q_{Ca}	S	q_S	T	%	
D 27	7,8	7,6	1,07	0,07	15	0,08		0,12	0,50	0,13	—	0,60	0,57	0,37	?	2,26	47,4	6,58	3,06	21,57	1,46	30,58	1,04	31,15	98	
D 28	8,0	7,8	0,94	0,04	23	0,08		0,10	0,83	0,05	—	0,69	0,54	0,36	?	0,42	> 200	8,62	2,62	24,24	1,62	33,67	1,00	34,21	99	
D 62	8,4	7,6	1,34	0,10	13	0,079	3,2	0,20	0,86	0,10	0,22	0,72	0,73	0,64	120,8	2,16	50,9	8,13	3,86	19,74	0,87	30,67	0,84	31,40	98	1,54
D 60	8,4	7,4	1,16	0,08	14	0,101	1,1	0,23	1,18	0,04	0,20	0,67	0,81	3,69	124,5	1,12	62,1	8,77	3,56	17,96	0,25	31,54	0,80	32,35	98	1,02
D 61	8,0	7,6	1,07	0,04	27	0,093	0,1	0,30	0,86	0,01	0,20	0,49	0,88	1,09	43,0	0,36	227,8	12,71	1,96	25,68	1,35	39,84	0,80	40,72	98	0,59
D 57	8,0	7,6	1,16	0,09	13	0,12	8,4	0,25	0,55	0,12	0,12	0,74	0,83	0,95	112,2	1,58	25,9	7,41	3,02	18,39	1,06	28,33	0,82	29,16	97	1,25
D 58	8,0	7,6	1,00	0,04	25	0,09	—	0,23	0,80	0,02	—	0,43	0,95	1,66	64,8	0,45	> 200	8,06	3,28	18,98	1,11	29,15	0,88	30,10	97	0,69
D 59	8,4	7,4	1,03	0,04	26	0,037	0,8	0,30	1,22	0,01	?	0,48	[illegible]	[illegible]	16,6	0,17	224,4	9,10	2,80	27,73	1,33	[illegible]	0,88	39,81	97	0,84

Zu den einzelnen Profilen ist das Folgende zu bemerken:

Profil D 27/28 wird von den Fellachen besonders zum Kartoffelbau und Leguminosenbau benutzt und ergibt mit starker Düngung hervorragende Ernten, die jedoch sofort nachlassen, sobald mit der Düngung ausgesetzt wird. Die Böden reagieren dabei außer auf Stickstoffgaben besonders auf Kalidüngung, die bei Verbesserung der Qualität Ernteerhöhungen bis zu 100% ergibt.

Bezüglich des Stickstoffes läßt sich eine Bilanz leider nicht aufstellen. Bezüglich des Kalis stellt sich die Rechnung näherungsweise wie folgt: Nimmt man als Bewurzelungstiefe der Kartoffeln 30 cm an, so bedeutet das, daß für die Ausnutzung des Bodens durch diese Flachwurzler schwerlich mehr als die einfache kritische Schichtdicke von rund 64 cm hinsichtlich der löslichen Nährstoffe zur Verfügung steht. Das in der Krumenschicht von 30 cm vorhandene wasserlösliche K ist also voll in Rechnung zu stellen, dazu noch das K von 34 cm des Untergrundes. Unter Zugrundelegung eines Volumengewichtes des Bodens von 1,3 ergibt sich damit als verfügbares lösliches Kali

aus der Krumenschicht	$30 \cdot 1{,}3 \cdot 0{,}13$	= 5,2 Kiloäquiv. je ha
aus dem Untergrund	$34 \cdot 1{,}3 \cdot 0{,}05$	= 2,2 Kiloäquiv. je ha
Dazu kommt rund aus		
den Komplexen		∽ 0,2 Kiloäquiv. je ha
und aus den Mineralien		∽ 0,2 Kiloäquiv. je ha
		7,8 Kiloäquiv. je ha

denen der Totalbedarf einer guten Kartoffelernte von ∽ 5,0 Kiloäquivalent je Hektar gegenübersteht. Der Boden ist also vorzüglich mit Kali versorgt, aber nicht etwa von Natur aus; denn kurz vor der Probenahme hatte er eine Düngung mit 375 kg K_2SO_4, entsprechend rund 4 Kiloäquivalent, erhalten, die dem q_S-Wert von 1 entsprechend offensichtlich zum großen Teil in der Krume in Lösung geblieben ist. Die verabfolgte Düngergabe ist also als durchaus sachgemäß zu bezeichnen.

Ganz besonders interessant gestaltet sich hinsichtlich der Nährstoffbilanz ein Vergleich der Profile D 62/60/61 und D 57/59.

Das erste Profil entstammt einem Fellachenfelde, das recht mäßige Baumwolle getragen hatte und noch niemals intensiv kultiviert, geschweige denn, außer mit etwas Stallmist, gedüngt worden ist. Der

Boden befindet sich noch praktisch im Urzustande, charakterisiert durch das Auftreten eines, was sich am Profil zeigte, für die Wurzeln gänzlich undurchdringlichen Illuvialhorizontes in 10—30 cm Tiefe, der sich chemisch (Tabelle 49) sehr scharf durch seinen hohen Gehalt an Na im Komplex hervorhebt und das schlechte Gedeihen der Baumwolle ohne weiteres verständlich macht, da ihr nur ein sehr geringes Bodenvolumen zur Verfügung steht.

Sieht man von dieser Schädigungsursache ab, so kann der Boden nach allen physikalischen und chemischen Daten nicht anders als das oben behandelte Profil bewertet werden, d. h. als ein vorzügliches, wenn auch nicht sehr reiches Kulturmedium. Auf den unmittelbar angrenzenden Böden D 57/59 ist seitens der Besitzer eine Bananenpflanzung angelegt, die als die ertragreichste Anlage dieser Art in Ägypten gilt. Der Stand der Pflanzung ist von einer außerordentlichen Üppigkeit. Noch 12 Jahre alte Stauden zeigen kein Nachlassen des Ertrages, der etwa 12,5—15,0 t marktfähige Bananen pro Hektar und Jahr beträgt.

Möglich werden diese enormen Erträge durch eine hervorragende Pflege des Bodens und die ganz außerordentliche Stärke der in Tabelle 50 angegebenen Düngung. Der Eindruck des meliorierten Bodens ist ein ganz hervorragender. Der Illuvialhorizont ist vollständig verschwunden, trotzdem wurzeln die Bananen jedoch keineswegs tief.

Tabelle 50.

50 t Baladi	∾ 100 N	∾ 50 P_2O_5	∾ 125 K_2O in kg je ha
50 t Kompost aus Bananenresten	∾ 60 „	∾ 30 „	∾ 70 K_2O in kg je ha
750 kg Blutmehl	56 „	7	5 K_2O in kg je ha
1 t $NaNO_3$	155 „	—	— K_2O in kg je ha
1 t K_2SO_4	—	—	500 K_2O in kg je ha
2 t Superphosphat	—	300	— K_2O in kg je ha
	371 N	387 P_2O_5	700 K_2O in kg je ha

Eine große Überraschung bieten die Analysenziffern der Böden. Weder physikalisch noch chemisch ist, abgesehen von einer Senkung der Reaktion, eine irgendwie nennenswerte Änderung gegenüber dem Ausgangszustand eingetreten. Besonders im Untergrunde liegen die Verhältnisse in beiden Böden praktisch vollkommen gleich. Vor allem

hat trotz der ganz enormen Düngung durchaus keine Anreicherung stattgefunden, eher das Gegenteil, selbst in der Krumenschicht, wo nur der totale P_2O_5-Gehalt eine starke Erhöhung zeigt.

Dieses Resultat wird durch eine einfache Rechnung in überraschender Weise bestätigt.

Die alljährlich gegebene Düngung repräsentiert rund die in Tabelle 50 angeführten Nährstoffmengen.

Diesen Ziffern stehen für die Entnahme der Bananen in Stamm, Blättern und Früchten bei 12—15 t Ernte die folgenden gegenüber: 240—300 N, 66—80 P_2O_5, 700—800 K_2O in Kilogramm je Hektar, d. h. die ganze verabfolgte Düngung mit N und K ist für ersteres fast ganz und für letzteres ganz in den Ernten zur Aufnahme gelangt, ja es ist sogar noch etwas Bodenkali mit angegriffen, was die geringe Abnahme im Boden erklärt. Der Bestand lebt nur von der Düngerzufuhr, und von dieser bleiben keine nennenswerten Mengen übrig, die etwa zur Anreicherung des Bodens gedient haben könnten. Nur P_2O_5 ist unverhältnismäßig viel gegeben und findet sich auch tatsächlich stark angereichert.

i) Ssafraböden des Deltas (Tabellen 51—54).

Die Ssafraböden schließen sich eng an die Tammböden in der Richtung zunehmender Schwere an.

Physikalisch geht mit dem Steigen des in Krume und Untergrund wenig Unterschiede zeigenden Tongehaltes (45 % bei völliger Dispersion) ein Steigen der Wasserkapazität der Böden auf rund ebenfalls 45 % Hand in Hand. Im natürlichen Zustande beträgt der durchschnittliche Gehalt an dispergiertem Ton 8—17 %, wobei die höheren Ziffern meist im Untergrunde sich finden.

Hand in Hand mit der Steigerung der Wasserkapazität geht aber auch eine Steigerung des Gehaltes an totem Wasser, die die erstere im Untergrunde nahezu wettmacht. Außerordentlich reduziert gegenüber den Tammböden ist die Wasserbeweglichkeit, gemessen als kritische Schichtdicke, und zwar besonders im Untergrunde.

Die Ursache dieser Erscheinung wird aus den chemischen Daten ohne weiteres deutlich. Der Na-Gehalt von Lösung und Komplexen ist sowohl absolut wie prozentisch gesteigert und nähert sich im Unter-

Tabelle 51. Bodenbeschreibung.

Zeichen und Nummer der Probe	Land	Provinz	Tiefe des Musters cm	Inländischer Name der Bodenart	Farbe	Verhalten des Bodens beim Trocknen	Bemerkungen über den Bau des Profils und Grundwasserstand	Bemerkungen über Ertragsklasse, Fruchtfolge, Düngung, evtl. über natürliche Vegetation
D 96	Ägypten	Kalyubiyeh	0—30	Ssafra-Kahla	dunkelbraun	bröckelig	Sehr gut durchlüftet, Kufrireste enthalt. Krumenschicht. Zwischen 30 bis 40 cm schwach. $CaCO_3$-Konkretionshorizont. Wurzeln bis 120 cm. Grundwasser 2,5 m	Wenigst produktiver Teil der Pflanzung, aber noch sehr gut. K-Wirkung befriedigend
D 97	,,	,,	30—130	,,	,,	,,		
D 98	,,	,,	0—30	Ssafra	braun	krümelig	Vorzüglich durchlüfteter Lehm ohne Andeutung von Horizonten. 2,5 m Grundwasser. Wurzeln > 1 m tief	Bester Teil der Pflanzung. K-Wirkung sehr gut
D 99	,,	,,	30—100	,,	,,	,,		
D 100	,,	,,	0—30	,,	,,	,,	Wie oben!	Seit 17 Jahren P+N-Parz. — Enorm starke Stallmistwirtschaft. Im Betriebe Düngungserf. außer mit N minimal. Besonders die K-Reaktion ist schwach und unsicher. Vieh wird außer zur Arbeit praktisch nur zur Mistproduktion gehalten, wobei viel Tüderbetrieb
D 101	,,	,,	30—100	,,	,,	,,		
D 102	,,	,,	0—30	,,	,,	,,	Wie oben!	P-Parzelle
D 103	,,	,,	30—70—100	,,	,,	,,		
D 104	,,	,,	0—30	,,	,,	,,	Oberfläche wesentlich humoser. Von 30 cm an Kalkkonkretionen bis zu 1 m Tiefe	Stalldüngerparzelle
D 105	,,	,,	30—70—100	,,	,,	,,		

grund im Durchschnitt bereits bedenklich der Grenze, bei welcher bei ägyptischen Böden die Gefahr einer rapiden Bodenverschlechterung durch selbst geringe Vermehrung des Na-Gehaltes beginnt.

Der absolute Gehalt an löslichem wie an Komplexkali ist in den Krumenschichten wesentlich geringer als bei den Tammböden. Noch stärker gesunken ist der prozentische Anteil des K an der total gelösten Basenmenge und an den Komplexen. Im Untergrunde bestehen Unterschiede der absoluten Werte gegenüber den Tammböden kaum, ebensowenig in prozentischer Hinsicht. Genau wie die Tammböden sind auch die Ssafraböden im Untergrunde an Kali arm und der verhältnismäßig reiche Gehalt der Krumenschicht ist als sekundäre Anreicherung durch die Düngung zu betrachten.

Tabelle 52. Physikalische Untersuchung des Bodens. Ssafraböden.

Zeichen und Nummer der Probe	In % Trockensubstanz Mechanische Zusammensetzung: Grobsand I	Feinsand I	Schluff I	Ton I	Grobsand II	Feinsand II	Schluff II	Ton II	Strukturfaktor	Hygroskopisches Wasser	Minimale Wasserkapazität	Totes Wasser für: Mais, Baumwolle, Weizen	Bersim	Kritische Schichtdicke cm	Steighöhe: nach 5 Stunden	nach 25 Stunden	Total	1000 × q	Bei Ausgang von: feste Teile %	Wasser %	Luft %	Lineare Schrumpf. %
D 96	4,0	14,4	29,5	52,1	4,5	46,3	35,2	14,0	73	10,6	50,8	17,3	20,1	14,2	40	100	161	69	42	51	7	14,0
D 97	2,7	10,0	31,0	56,3	3,0	38,4	42,6	16,0	72	12,0	53,4	20,1	23,4	10,7	31	78	127	122	39	53	8	16,0
D 98	3,8	15,6	31,8	48,8	4,1	41,5	41,0	13,4	73	10,1	51,1	16,6	19,2	14,9	50	115	169	71	44	54	2	14,0
D 99	2,9	37,8	25,7	33,6	3,0	31,6	50,9	14,5	57	12,4	57,7	21,7	25,5	4,3	18	37	53	179	40	57	3	16,5
D 100	1,3	19,5	33,4	45,8	1,8	50,2	35,4	12,6	72	10,1	47,6	17,2	20,1	12,7	67	115	139	39	44	54	2	12,0
D 101	4,0	20,6	30,7	44,7	4,5	43,0	47,3	5,2	88	11,0	40,3	24,0	29,4	23,6	70	170	263	52	49	50	1	11,5
D 102	1,9	17,8	34,5	45,8	2,1	55,4	34,2	8,3	82	9,9	,5,6	16,7	19,5	21,8	92	182	238	34	43	50	7	12,5
D 103	1,4	17,0	31,8	49,8	1,9	49,1	41,0	8,0	84	11,3	47,4	24,1	29,4	11,6	45	95	132	73	43	55	2	14,0
D 104	2,1	19,2	32,7	46,0	2,5	56,2	31,7	9,6	79	9,6	45,1	16,0	18,6	18,5	61	140	208	58	43	49	8	13,0
D 105	1,5	46,7	21,4	30,4	2,0	35,8	45,0	17,2	43	11,6	49,7	20,9	24,7	9,2	41	80	105	75	42	55	3	14,5

Tabelle 53. Chemische Untersuchung des Bodens (Analysendaten). Ssafraböden.

Zeichen und Nummer der Probe	p_H in Wasser	p_H in n-KCl	C %	N %	C/N	P_2O_5 Total %	P_2O_5 nach NEUBAUER mg	Karbonate	Zusammensetzung der löslichen Salze in Milliäquivalent: Na	K	Mg/2	Ca/2	Zusammensetzung der Komplexsättigung in Milliäquivalent: H	Na	q_{Na}	K	q_K	Mg/2	q_{Mg}	Ca/2	q_{Ca}	S	q_S	T	V %	K in Milliäquivalent nach NEUBAUER
D 96	8,6	7,6	1,42	0,08	18	0,161	—	0,38	0,98	0,05	—	0,43	0,77	1,79	34,2	1,62	44,7	10,76	3,04	28,93	1,13	43,10	0,80	43,87	98	1,23
D 97	8,4	7,6	1,03	0,03	34	0,092	—	0,38	1,50	0,01	—	0,37	0,90	2,67	5,5	0,41	424,2	14,84	1,42	31,83	1,47	49,75	0,74	50,65	98	0,61
D 98	8,6	7,6	1,42	0,09	16	0,130	—	0,40	0,96	0,05	—	0,41	0,88	1,63	9,3	1,67	39,3	10,44	1,78	27,08	1,57	40,82	0,84	41,70	98	0,84
D 99	9,0	7,6	1,00	0,04	25	0,147	2,3	0,46	2,23	Spur	—	0,24	1,03	5,69	4,2	0,60	333,3	15,87	1,96	25,69	1,46	47,85	0,72	48,88	98	1,01
D 100	8,8	7,6	1,39	0,09	15	0,094	1,8	0,40	1,43	0,02	—	0,44	0,79	2,48	8,8	1,37	204,7	10,33	2,05	26,47	1,06	40,65	0,70	41,44	98	0,97
D 101	8,6	7,6	1,03	0,04	26	0,097	0,6	0,23	4,84	0,02	0,47	1,33	0,60	3,57	4,5	0,22	222,2	15,70	2,04	25,35	1,64	44,84	0,80	45,44	99	0,55
D 102	8,6	7,6	1,33	0,08	17	0,069	1,7	0,38	1,32	0,02	—	0,47	0,71	2,18	18,3	0,59	52,3	11,34	3,10	26,54	1,08	40,65	0,76	41,36	98	1,21
D 103	8,4	7,6	1,04	0,04	26	0,066	—	0,23	4,52	0,02	0,54	1,02	0,67	4,23	8,7	0,35	381,0	15,04	1,78	26,04	1,33	45,66	0,72	46,33	99	0,51
D 104	8,6	7,6	1,36	0,09	15	0,085	0,7	0,35	1,10	0,03	?	0,45	0,77	2,27	39,3	1,22	107,1	11,75	3,14	23,22	0,52	38,46	0,62	39,23	98	1,35
D 105	8,6	7,0	1,03	0,03	21	0,055	1,0	0,36	2,49	0,02	—	0,31	0,87	4,96	6,5	0,35	306,9	15,13	1,80	25,22	1,41	45,66	0,72	46,53	98	0,82

Der Gehalt an zweiwertigen Basen ist in der Lösung prozentisch stark durch das Hervortreten des Na zurückgedrängt. In den Komplexen ist dies nicht der Fall.

Die Profile 96/97 und 98/99 sind in ihren Erträgen, die in beiden Fällen sehr hoch sind, wenig voneinander unterschieden. Als Düngung werden laufend sehr große Mengen von Kufri verwandt, von dem sich daher überall deutliche Reste finden. Daneben werden seit einiger Zeit auch in steigendem Maße Handelsdünger verwandt, wobei sich eine sehr starke Reaktion auch auf K_2SO_4 zeigt. In der Regel liegen die Erntezahlen des ersten Profiles etwas niedriger als die des zweiten.

Diese praktischen Beobachtungen finden in den Analysen ihre volle Bestätigung. Sowohl physikalisch wie chemisch sind die Bodenprofile nahezu gleich. Der einzige, praktisch nennenswerte Unterschied besteht darin, daß das Profil 96/97 im Untergrunde in etwa 1 m Tiefe, wo die Probeentnahme war, eine höhere Wasserbeweglichkeit zeigt als das Vergleichsprofil. Bei nicht besonders stark bemessener Bewässerung kann sich diese stärkere Drainage naturgemäß unter Umständen ungünstig auswirken, und es ist darin wohl der Grund des zeitweiligen Zurückbleibens der Ernte hinter der von Profil 98/99 zu sehen.

In chemischer Hinsicht ist das erste Profil etwas reicher als das zweite hinsichtlich Phosphorsäure und Kali. Der absolute Phosphorsäuregehalt ist sogar sehr bemerkenswert hoch in beiden Profilen in den Krumenschichten, wohl als Ergebnis der Düngung.

Der Kaligehalt ist nur in der Krumenschicht hoch, die bis 30 cm Tiefe gerechnet rund 2,0 Kiloäquivalent lösliches und etwa 0,2 Kiloäquivalent Komplexkali zur Verfügung stellt. Die Lieferung aus dem Untergrunde ist mit 0,25 bzw. 0,1 Kiloäquivalent zu veranschlagen, die Lieferung des Profils also auf 2,55—2,60 Kiloäquivalent. Das sind Kalimengen, die für Ernten von Ashmouni- und Maaradbaumwolle von etwa 5—6 dz/ha ausreichen. Die beobachtete gute Düngerwirkung, speziell auf den Profilen 98/99, ist also zu verstehen, da ohne Düngung der Boden fraglos nicht zur Erzeugung von Maximalernten seiner Lieferung von Nährstoffen nach in der Lage ist.

Im Vergleich mit den oben erörterten Profilen 96/99 zeigen die Profile der seit 17 Jahren einseitig gedüngten Parzellen:

100/101 seit 17 Jahren nur mit P und N gedüngt,
102/103 seit 17 Jahren nur mit P gedüngt,
104/105 seit 17 Jahren nur Stalldünger,

eine ganz entschiedene Abnahme sämtlicher Nährstoffe, wenn man die absoluten Ziffern betrachtet. Am schärfsten ausgesprochen ist bei der bisherigen Vernachlässigung der K-Düngung die Verarmung des Untergrundes an Kali, die auf der intensiv einseitig mit P und N gedüngten Parzelle schon einen bedrohlichen Grad erreicht hat und bei der P-Parzelle bereits auf die Krumenschicht übergreift.

Der Gehalt der Bodenlösung an K ist bei 100—103 gegenüber den Profilen 96/99 bereits auf weniger als die Hälfte gefallen und auch bei der Stallmistparzelle 104/105 merklich vermindert. Die schätzungsweise K-Bilanz stellt sich wie folgt in Kiloäquivalent (Tabelle 54):

Tabelle 54.

	Aus Lösung	Aus Komplex	Summe
PN-Parzelle	1,9	0,1	2,0
P-Parzelle	1,7	< 0,1	1,7
Stallmistparzelle	2,0	0,1	2,1

k) Die Kahlaböden des Deltas (Tabellen 55—59).

Als Kahla werden alle diejenigen Böden bezeichnet, die den Charakter schwerer Lehme bis Tone tragen, aber sich von den letzteren durch eine braune Farbnuance unterscheiden. Dieser scheinbar sehr nebensächliche Unterschied hat dadurch Bedeutung, daß das Auftreten der braunen Farbe stets eine Oxydation des Eisens in dem Boden anzeigt, wie sie nur ältere Bodenbildungen, die lange den klimatischen Einflüssen oberhalb des Grundwasserspiegels ausgesetzt gewesen sind, zeigen können.

Wie in der Mehrzahl der Sudanböden ist, entsprechend einem hohen Gehalt an Na-Ton, der sehr genähert dem nichtkoagulierten Ton entspricht, wie es durchgehend der Fall ist, die Wasserbeweglichkeit bzw. die kritische Schichtdicke stark reduziert. Speziell im Untergrunde ist sie auf wenige Zentimeter gesunken, was nicht nur große Undurchlässigkeit des Untergrundes, sondern auch eine weitgehende Beschränkung der Ausnutzbarkeit der Bodennährstoffe bedeutet.

Tabelle 55. Bodenbeschreibung. Kahlaböden.

Zeichen und Nummer der Probe	Land	Provinz	Ort	Tiefe des Musters cm	Inländischer Name der Bodenart	Farbe	Bemerkungen über den Bau des Profils und Grundwasserstand	Bemerkungen über Ertragsklasse, Fruchtfolge, Düngung, evtl. über natürliche Vegetation
D 29	Ägypten	Garbieh	Kalib Ibiar	0—30	Kahla	grau	Schwerer Lehm, in 30 cm Tiefe leichter Illuvialhorizont über $CaCO_3$-Konkretionslage. In 150 cm Tiefe völlig undurchlässige Tonschicht	Bei sehr schnellem Wechsel der Böden auf kurze Entfernung widersprechende Resultate der K-Düngung. P_2O_5 noch nicht versucht
D 30	,,	,,	,,	60—100	,,	grau-braun		
D 39	,,	,,	Nachart	0—30	,,	,,	Mittelschwerer Lehm, bis in große Tiefe unverändert, keine Horizonte, Grundwasser sehr tief	Sehr produktiver Boden. Hervorragende Erfolge mit Kunstdüngung. Sehr starke Nachwirkung der Kalidüngung
D 40	,,	,,	,,	80—100	,,	,,		
D 53	,,	,,	Kafr Dimetun	0—30	,,	grau	Oberflächlich leichte Gipsausblühungen, viele Schneckenschalen, sehr locker. Unterhalb 20 cm vereinzelte Gipsausblühungen. Allmählich übergehend in den sehr plastischen Untergrund mit muscheligem Bruch	Hochproduktiver Baumwollboden mit ausgesprochener K-Wirkung neben Stallmist, N und P speziell Mais
D 54	,,	,,	,,	50—70	,,	,,		
D 11	,,	,,	Gemeza	0—30	,,	,,	Humoser Lehm ohne jede Profilierung, Wurzeln bis in 1 m Tiefe, Grundwasser wechselnd = 1,5—2 m	Erstklassiger Boden. Düngerwirkung bei starker Stallmistwirtschaft gering. (75 cbm je ha und Jahr, ferner je 250 kg $CaCO_3$)
D 12	,,	,,	,,	80—100	,,	,,		
D 15	,,	Menufieh	Defra	0—20	,,	grau-braun	An exponierten Stellen schwache Gipsausblühung. Lockere Krume geht ohne Horizonte allmählich in sehr fest gelagerten Untergrund über. Grundwasser = 2 m tief	Sehr produktiver Boden, aber wenig intensiv bewirtschaftet. Soll Versuchsfeld für Düngungsfragen werden
D 16	,,	,,	,,	60—80	,,	,,		

Tabelle 56. Physikalische Untersuchung des Bodens.

Zeichen u. Nummer der Probe	In % Trockensubstanz Mechanische Zusammensetzung: Grobsand I	Feinsand I	Schluff I	Ton I	Grobsand II	Feinsand II	Schluff II	Ton II	Struktur-faktor	Hygroskopisches Wasser	Minimale Wasserkapazität	Totes Wasser für Mais, Baumwolle, Weizen	Bersim	Kritische Schicht cm	Steighöhe nach 5 Stunden	nach 25 Stunden	Total	1000 × q	Bei Ausgang von feste Teile %	Wasser %	Luft %	Lineare Schrumpf. %
D 29	Kein Boden!								—	9,9	39,9	17,7	20,9	40,4	136	300	435	26	—	—	—	—
D 30	2,8	37,9	18,0	41,3	3,1	65,3	21,8	9,8	76	9,0	39,9	16,1	18,9	18,0	66	142	200	51	48	51	1	10,0
D 39	8,7	14,9	20,6	55,8	9,1	38,5	37,4	15,0	73	10,6	48,4	18,7	22,0	6,6	38	63	75	65	43	49	8	13,0
D 40	5,1	12,7	22,8	59,4	6,0	29,2	44,2	20,6	65	12,2	50,9	25,6	31,1	2,7	17	28	33	144	41	50	9	15,0
D 53	1,8	5,0	23,0	70,2	6,5	25,9	59,0	8,6	88	12,9	62,4	26,1	31,6	4,8	18	41	60	195	38	59	3	17,0
D 54	1,6	6,2	20,0	72,2	2,8	13,8	45,8	37,6	48	14,4	66,1	31,6	38,7	3,0	15	29	38	201	36	57	7	18,0
D 11	1,2	38,6	30,8	29,4	1,7	55,4	33,0	9,9	66	8,0	44,5	13,6	15,8	26,5	77	190	294	48	45	45	10	11,0
D 12	2,5	19,3	27,0	51,2	2,3	32,1	42,6	23,0	55	12,3	50,0	24,0	28,9	8,7	46	79	98	58	42	54	4	13,0
D 15	2,4	14,3	29,9	53,4	3,0	36,8	44,9	15,3	71	10,8	52,6	17,6	20,3	13,9	54	114	156	61	42	49	9	13,0
D 16	2,9	13,9	26,6	56,6	3,2	29,5	46,9	20,4	64	12,7	57,0	22,0	25,8	3,8	18	36	48	224	41	56	3	16,0

Tabelle 57. Chemische Untersuchung des Bodens (Analysendaten).

Zeichen und Nummer der Probe	p_H in Wasser	p_H in n-KCl	C %	N %	C/N	P_2O_5 Total %	P_2O_5 nach NEUBAUER mg	Zusammensetzung der löslichen Salze in Milliäquivalent: Karbonate	Na	K	Mg/2	Ca/2	Zusammensetzung der Komplexsättigung in Milliäquivalent: H	Na	q_{Na}	K	q_K	Mg/2	q_{Mg}	Ca/2	q_{Ca}	S	q_S	T	V %	K in Milliäquivalent nach NEUBAUER
D 29	8,4	7,6	1,43	0,12	12	0,114	—	0,13	1,42	0,12	0,50	1,28	0,76	6,83	113,6	2,14	50,3	10,19	4,16	15,32	?	34,48	0,86	35,24	98	1,58
D 30	8,6	7,6	1,00	0,04	25	0,114	—	0,26	1,73	0,03	0,06	0,49	0,75	4,55	39,0	0,56	145,2	12,28	2,62	16,74	0,42	34,13	0,80	34,88	98	0,67
D 39	8,0	7,6	1,14	0,09	13	0,182	—	0,18	1,92	0,05	—	0,36	0,82	4,01	10,5	1,84	34,1	12,48	2,68	22,49	1,41	40,82	0,84	41,64	98	1,46
D 40	8,0	7,6	0,99	0,05	20	0,067	1,1	0,23	5,08	0,04	0,06	0,41	0,92	7,41	2,8	0,84	88,8	17,42	2,32	19,58	1,27	45,25	0,66	46,17	98	0,59
D 53	8,6	7,6	1,15	0,07	16	0,15	—	0,23	4,02	0,07	0,72	1,12	0,81	4,02	8,9	1,27	51,4	18,52	1,74	28,00	1,56	51,81	0,76	52,62	98	1,25
D 54	8,6	7,6	1,05	0,05	21	0,10	—	0,28	6,56	0,06	0,50	0,88	0,81	6,92	4,6	1,52	87,9	19,16	1,82	27,95	1,77	55,55	0,78	56,36	99	0,67
D 11	8,6	7,0	1,46	0,10	15	0,12	—	0,16	1,03	0,08	—	0,48	0,79	1,43	43,8	2,29	30,5	8,20	2,36	19,33	1,11	31,25	0,80	32,04	99	0,93
D 12	8,0	7,4	1,03	0,04	26	0,07	—	0,20	3,78	0,04	0,16	0,77	1,06	4,72	12,6	0,85	337,7	17,89	3,52	24,85	0,47	48,31	0,68	49,37	98	0,52
D 15	8,0	7,4	1,23	0,09	14	0,101	—	0,26	0,96	0,03	—	0,44	0,84	2,62	55,3	1,54	72,0	12,28	2,60	27,04	1,13	43,48	0,84	44,32	98	1,14
D 16	8,8	7,8	1,09	0,04	27	0,056	—	0,36	2,08	0,02	—	0,27	0,92	4,64	7,0	0,82	212,1	16,37	2,26	28,67	1,46	50,50	0,80	51,42	98	0,61

In der Bodenlösung der Kahlaböden dominiert das Na durchaus. K ist absolut reichlicher vorhanden als in den Ssafraböden, tritt aber prozentisch stark in den Hintergrund. Verhältnismäßig am stärksten zurückgedrängt erscheint der Gehalt an löslichen Ca-Verbindungen, während Mg-Salze, darunter anscheinend viel Chloride, etwas reichlicher zu beobachten sind.

Das letztere gilt auch für die Komplexe, in welchen das Mg einen verhältnismäßig großen Raum einnimmt unter starker Zurückdrängung des Ca. K ist sowohl absolut wie prozentisch gegenüber den Ssafraböden etwas erhöht, entsprechend der starken Bindungsfestigkeit des K-Ions und dem ausgesprochen kaliinaktiven Charakter aller Kahlaböden.

Als die beiden produktivsten Böden, auf welchen gleichzeitig speziell die Kalidüngung entweder gar keine oder unsichere Ertragserhöhung gibt, sind die Profile D 11/12 Gemeza und D 29/30 Kalib Ibiar zu betrachten. Gemeza ist das 600 ha große Hauptversuchsgut der Regierung, auf welchem auf den von vornherein ausgesucht guten Böden eine außerordentlich starke Stallmistdüngung angewandt wird, wie Tabelle 54 zeigt. Irgendwie rentable Ernteerhöhungen durch Kunstdüngung außer mit N sind nicht zu erzielen. Ganz besonders gilt das von dem Schlage 14, welchem die Probe entnommen ist.

Auch die Unternehmung Kalib Ibiar genießt den Ruf eines Mustergutes, das allerdings im Gegensatz zu Gemeza auf kurze Entfernungen recht wechselnde Bodenverhältnisse aufweist. Die Böden des Typus der Probe zeichnen sich durch große Fruchtbarkeit und meist geringe und unsichere Reaktion speziell auf Kalidüngung aus.

Ein Vergleich der Ziffern der Tabelle 56 für die einzelnen Profile zeigt sofort einen ganz deutlichen Unterschied der kritischen Schichtdicken von Ober- und Untergrund der beiden Bodenkrumen und damit des in jedem Falle ausnutzbaren Bodenvolumens, das jeweils als das Doppelte der kritischen Schichtdicke anzusetzen ist. Die chemische Zusammensetzung der Böden geht aus Tabelle 57 hervor.

Rechnet man den Maximalbedarf einer Baumwollernte auf 5 Kiloäquivalent K je Hektar, so leuchtet ein, daß bei den Böden der Gruppe 1 eine Kaliwirkung entweder gar nicht oder in verschwindendem Maße auftritt, dagegen durchschlagend bei der zweiten Bodengruppe.

Der bei den besonders intensiv bewirtschafteten Böden 11/12 und 29/30 besonders große Unterschied des Kaligehaltes der Komplexe in Krume und Untergrund erklärt sich dadurch, daß das in der starken Stallmist-, Kufri- usw. Düngung dem Boden im Laufe der Zeit zugeführte Kali in den obersten Krumenschichten steckengeblieben ist

Tabelle 58. Kritische Schichtdicken.

I. Böden ohne Düngerwirkung			II. Böden mit Düngerwirkung		
11/12	Obergrund	53,0 cm	39/40	Obergrund	13,2 cm
	Untergrund	17,4 "		Untergrund	5,4 "
29/30	Obergrund	80,8 "	53/54	Obergrund	9,6 "
	Untergrund	36,0 "		Untergrund	6,0 "

Tabelle 59. Kalibilanz.

I. Kiloäquivalent K je ha				II. Kiloäquivalent K je ha			
		aus Lösung	aus Komplex			aus Lösung	aus Komplex
11/12	Obergrund	5,5	0,4	39/40	Obergrund	0,9	0,6
	Untergrund	0,9			Untergrund	0,3	
	Total	6,8 Kiloäquiv.			Total	1,7 Kiloäquiv.	
29/30	Obergrund	12,6	0,3	53/54	Obergrund	0,9	0,5
	Untergrund	1,4			Untergrund	0,5	
	Total	14,3 Kiloäquiv.			Total	1,9 Kiloäquiv.	
	Totalmittel	10,6 "			Totalmittel	1,8 "	
	Keine Kaliwirkung				Starke Kaliwirkung		

und sich noch nicht bis unten verteilt hat, weil es den Sättigungsäquivalenzpunkt noch nicht erreicht hat. Die in der Bodenlösung trotz dieses Umstandes noch festzustellenden geringen Kalimengen sind das Ergebnis der hydrolytischen Spaltung der Bodenkomplexe.

Das Profil D 15/16 Defra ist praktisch darum von besonderer Wichtigkeit, weil diese Besitzung zum Versuchsfeld für Düngungsfragen bestimmt ist. Man kann das Ergebnis der Düngungsversuche, soweit es sich um Felder der gleichen Zusammensetzung wie das untersuchte Profil handelt, mit großer Sicherheit nach dem Analysenergebnis voraussagen.

Es wird sich eine ausgesprochene N-Wirkung, daneben aber bei starken Gaben — auch dieser Boden gehört zum inaktiven Typus — auch eine sehr nennenswerte Kaliwirkung zeigen, die zum großen Teil auf der Meliorationswirkung des Kalis und besonders seiner im Vergleich zum Kalk immerhin erheblicheren Tiefenwirkung beruhen wird.

Da auch auf diesem Boden mit seiner minimalen Wasserbeweglichkeit im Untergrunde vor der Zufuhr Na-haltiger Düngemittel dringend zu warnen ist, erscheint, wie für die Mehrzahl der schweren ägyptischen Böden überhaupt, soweit sie nicht kalireich sind, als ideales kombiniertes N- und K-Düngemittel das Kaliumnitrat, das besonders bei tiefem Unterbringen eine vorzügliche Wirkung entfalten dürfte. Eine gewisse Phosphorsäurewirkung ist wahrscheinlich.

l) *Die Sodaböden des Deltas* (Tabellen 60—62).

Die dunklen schweren Tone des Deltas, in Ägypten „Soda"-böden, d. h. schwarze Böden genannt, sind als Vorstufe der Kahlaböden zu betrachten, in die sie bei langer Trockenlegung übergehen würden.

Die Unterschiede der Sodaböden von den Kahlaböden sind recht gering. Als Ergebnis des im Untergrunde meist im Vergleich mit den Kahlaböden etwas höheren Gehaltes an Na-Ton — Anzeichen noch nicht so langer Entsalzung, wie sie bei Kahlaböden bereits vorliegt — ist die Wasserbeweglichkeit in den Untergrundschichten noch wesentlich geringer als bei den Kahlaböden, obwohl der gesamte Tongehalt der Untergrundböden etwas geringer ist als der der Krume. Auch diese Erscheinung hängt wohl mit der größeren Jugend der Sodaböden zusammen, weil bei ihnen der Na-Ton noch nicht in gleichem Maße wie bei den älteren Bodenbildungen nach unten verschlämmt ist. Die minimale Wasserkapazität erreicht bei den Sodaböden ihr Maximum. Die Sorptionskapazität ist im großen und ganzen dieselbe wie bei den Kahlaböden, und auch die Zusammensetzung der Sorptionskomplexe ist nicht wesentlich anders. Ein gleiches gilt für die Zusammensetzung der Bodenlösungen, die nur im Untergrunde einen etwas gesteigerten Gehalt an Ca aufweisen.

Sämtliche für die Kahlaböden oben gezogenen Schlußfolgerungen gelten also auch für die Sodaböden, und es kann, um Wiederholungen zu vermeiden, auf diese verwiesen werden.

Von den Einzelprofilen sind folgende bemerkenswert:

Profil D 51/52 ist der Rekordsodaboden Ägyptens, auf welchem nicht einmal mehr N-Düngung erntesteigernd wirkt, die im Gegenteil wegen zu geiler Entwicklung der Pflanzen und Reifeverzögerung der Baumwolle zu Erntedepressionen führt, wenn N außer der normalen sehr starken Stallmistdüngung gegeben wird.

Das Profil D 51/52 stammt von der Staatsdomäne Sakka. Die Betrachtung der Analysenziffern zeigt, daß es sich in der Tat um einen sehr guten und reichen Boden handelt, bei dem besonders die große P_2O_5-Anreicherung in der Krumenschicht auffällt.

Die Sakkaböden zeigen in ganz besonderem Maße die auch sonst von vielen anderen schweren Böden berichtete Erscheinung, daß, wenn sie in rauher Furche eine längere Zeit gebracht werden, die Nitrifikation, vielleicht auch die Stickstoffanreicherung, in einem so hohen Grade erfolgt, daß die nachfolgende Frucht durch die starke

Tabelle 60. Bodenbeschreibung.

Zeichen und Nummer der Probe	Land	Provinz	Tiefe des Musters cm	Inländischer Name der Bodenart	Farbe	Verhalten des Bodens beim Trocknen	Bemerkungen über den Bau des Profils und Grundwasserstand	Bemerkungen über Ertragsklasse, Fruchtfolge, Düngung, evtl. über natürliche Vegetation
D 17	Ägypten	Beheira	0—20	Soda	grau-braun	krümelig	Schwerer humoser Ton. Von 40—60 cm Gipshorizont, dann plastischer Ton	Boden gilt als gut. Soll Versuchsgut werden
D 18	,,	,,	40—60	,,	,,	,,		
D 35	,,	Gharbieh	0—30	,,	,,	bröckelig	Fester, schlecht durchlüfteter Ton mit wenig Kalkkonkretionen in 30 cm Tiefe und schwachem Gipshorizont. Grundwasser angeblich 2,0 m	Bei gutem Gedeihen von Citrus hat Mango total versagt
D 36	,,	,,	60—80	,,	,,	,,		
D 51	,,	,,	0—40	,,	grau	,,	Humoser Ton, bei 20—50 cm vereinzelte Kalkausblühungen und Konkretionen. Untergrund sehr porös und durchlüftet, tiefer als 1,25 m durchwurzelt. Grundwasser tief	Rekordboden Ägyptens. Reagiert auf keine Düngung. Bei N-Düngung sofort Schädigung durch zu üppigen Wuchs
D 52	,,	,,	125—150	,,	,,	,,		

Tabelle 61. Physikalische Untersuchung des Bodens.

Zeichen und Nummer der Probe	In % Trockensubstanz, Mechanische Zusammensetzung: Grobsand I	Feinsand I	Schluff I	Ton I	Grobsand II	Feinsand II	Schluff II	Ton II	Strukturfaktor	Hygroskopisches Wasser	Minimale Wasserkapazität	Totes Wasser für: Mais, Baumwolle, Weizen	Bersim	Kritische Schicht cm	Wasser-beweglichkeit	Steighöhe: nach 5 Stunden	nach 25 Stunden	Total	1000 × q	Bei Ausgang von: feste Teile %	Wasser %	Luft %	Lineare Schrumpf. %
D 17	2,1	19,5	32,0	46,4	2,7	33,0	46,5	17,8	62	10,0	58,2	18,2	21,6	7,5	0,56	23	57	91	163	43	51	6	14,0
D 18	2,6	19,7	30,7	47,0	2,4	30,4	66,3	0,9	98	11,4	51,1	34,0	43,6	7,7	0,45	23	59	97	216	42	54	4	13,0
D 35	4,3	18,0	26,9	50,8	4,8	45,9	35,8	13,5	73	9,4	51,2	16,5	19,4	7,2	0,78	29	61	85	109	42	53	5	12,0
D 36	4,0	16,8	26,9	51,3	4,6	31,4	44,3	19,7	62	10,1	58,7	20,2	24,3	2,9	0,16	14	28	37	224	39	55	6	15,0
D 51	3,4	24,8	20,9	50,9	4,0	40,6	40,2	15,2	70	9,6	54,9	16,6	19,4	8,4	0,89	31	69	99	111	40	55	5	13,0
D 52	1,3	15,6	32,2	50,9	1,9	31,0	65,3	1,8	96	11,7	50,1	32,1	40,7	4,8	0,41	24	45	58	142	41	57	2	14,5

Tabelle 62. Chemische Untersuchung des Bodens (Analysendaten).

Zeichen und Nummer der Probe	p_H in Wasser	p_H in n-KCl	C %	N %	C/N	P_2O_5 Total %	P_2O_5 nach NEUBAUER mg	Karbonate	Zusammensetzung der löslichen Salze in Milliäquivalent: Na	K	Mg/2	Ca/2	Zusammensetzung der Komplexsättigung in Milliäquivalent: H	Na	q_{Na}	K	q_K	Mg/2	q_{Mg}	Ca/2	q_{Ca}	S	q_S	T	V %	K in Milliäquivalent nach NEUBAUER
D 17	8,4	7,6	1,51	0,11	14	0,093	—	0,20	2,24	0,05	—	0,45	1,05	3,34	8,7	1,95	47,6	14,90	2,64	18,12	0,77	38,31	0,70	39,36	97	0,69
D 18	8,2	7,0	0,99	0,03	33	0,061	—	0,13	9,80	0,12	2,18	3,50	0,70	8,16	28,4	2,14	128,7	14,06	2,72	15,96	0,28	40,32	0,66	41,02	98	1,19
D 35	8,8	7,6	1,18	0,09	13	0,250	2,5	0,16	1,67	0,06	—	0,31	0,76	4,32	14,9	2,60	25,6	11,18	2,66	16,38	0,57	34,48	0,70	35,24	98	1,30
D 36	8,6	7,6	1,06	0,07	15	0,064	2,1	0,26	3,49	0,08	—	0,32	0,89	6,08	3,9	3,29	35,8	13,75	2,70	11,60	?	34,72	0,74	35,61	98	1,46
D 51	8,6	7,0	1,22	0,08	15	0,234	1,4	0,36	1,48	0,06	—	0,27	0,77	2,71	3,80	2,15	27,7	12,11	2,78	20,07	1,82	37,04	0,92	37,81	98	1,33
D 52	8,6	7,0	1,03	0,03	34	0,068	0,9	0,25	0,34	0,07	1,00	1,80	0,62	6,10	4,4	1,40	100,0	13,87	1,08	23,01	1,78	44,44	0,82	45,06	99	1,30

vegetative Entwicklung und Verzögerung der Reifeperiode schwer unter Schädlingsbefall aller Art zu leiden hat. Die Lösung der damit gegebenen Stickstoffprobleme der ägyptischen Böden wäre von besonderem Interesse.

Das Profil D 17/18 Karakos ist zum Versuchsgut für Düngerfragen bestimmt. Auch dieser Boden ist als gut in chemischer, mittelmäßig in physikalischer Hinsicht zu bezeichnen. Er unterscheidet sich, wenn sich die Profilgestaltung über das ganze Gelände erstreckt, in einer Hinsicht von nahezu sämtlichen anderen Deltaböden. Während normalerweise die Krume den größten Kaligehalt aufweist, findet er sich bei diesem Profil im Untergrunde, und zwar sowohl in der Lösung wie im Komplex. Da er im Untergrunde mit einem sehr hohen Na-Gehalt bei gleichzeitig beträchtlichem Gipsgehalt gepaart geht, ist vielleicht an eine Infiltration von einem Kanal aus in früherer Zeit zu denken.

Ehe Karakos zuverlässige Versuchsresultate liefert, die mit großer Sicherheit bei starken Düngergaben für sämtliche Nährstoffe positiv ausfallen werden, scheint eine tiefe Entwässerung und gründliche Meliorierung mit Rücksicht auf die Untergrundverhältnisse dringend angezeigt. Die Kombination Gips—Kaliumnitrat dürfte sich auf diesem Boden als die zweckmäßigste erweisen.

Mit sehr wenigen Ausnahmen ist die Wasserbeweglichkeit in allen Sodaböden sehr gering, sogar in der Oberkrume, aber in ganz besonderem Maße im Untergrunde. Es bleibt infolgedessen nicht nur die Wirkung der Drainage hinter den Erwartungen zurück, sondern die Ausnutzung des an sich, absolut genommen, meist großen Bodenreichtums ist unverhältnismäßig beschränkt. Gipsdüngung allein wirkt, wenn kein energischer Abzug nach unten erfolgt, der durch die ständige Durchtränkung des Untergrundes bei hochstehendem Grundwasser im Delta hintenan gehalten wird, nur wenig in die Tiefe. Das tut in sehr viel höherem Grade das K, das mit N kombiniert als Kaliumnitrat bei tiefer Unterbringung vorzügliche Meliorationswirkungen neben seiner Düngerwirkung entfalten muß, weil es die Wasserbeweglichkeit selbst bei verhältnismäßig kleinen Gaben, wie oben experimentell gezeigt ist und sich aus den Versuchen im Sudan ergibt, sehr stark erhöht. Diese Erhöhung der Wasserbeweglichkeit bedeutet aber nicht nur eine physi-

kalische, sondern in erster Linie wegen der Verfügbarmachung größerer Mengen löslicher Bodennährstoffe auch eine sehr durchgreifende chemische Verbesserung des Bodens.

In Fällen, wo der Boden bereits reich an verfügbarem Kali ist, wird man das Kaliumnitrat zweckmäßig durch Kalknitrat ersetzen können, das aber ebenfalls tief einzubringen ist. Vermieden werden muß unter allen Umständen auf den Sodaböden jede Zufuhr Na-haltiger Düngemittel, also auch von Na-Salpeter, da die Beseitigung der Nebenwirkung des Natronsalpeters: Verringerung der nutzbaren Krumentiefe und Verschlämmung des Untergrundes durch Bildung von Na-Tonen sehr wahrscheinlich im ganzen sehr viel mehr Kosten erfordert, als die durch die N-Düngung hervorgebrachte vorübergehende Ernteerhöhung ausmacht.

Außer bei K-Reichtum kann speziell für Baumwolle das Kalknitrat vielleicht noch dann den Vorzug verdienen, wenn im Boden ein im Verhältnis zum Kalkgehalt auffallend großer Mg-Gehalt vorhanden ist.

Einen ganz besonderen Fall, auf welchen noch mit einigen Worten einzugehen ist, stellt das Profil D 35/36 vor. Auf diesem Boden gedeiht Citrus vorzüglich, während Mangobäume versagen. Chemisch ist, da es sich sowohl in Ober- wie Untergrund um einen durchaus normalen, sogar recht reichen Boden handelt, für dieses Versagen kein Grund zu sehen. Wohl aber scheint er physikalisch vorzuliegen. Der Untergrund hat eine abnorm geringe Wasserbeweglichkeit bei einer kritischen Schichtdicke von nur 2,9 cm. Die aus dem Untergrunde dem Baum zur Verfügung stehenden Wassermengen sind also minimal. Das hat für den verhältnismäßig flach wurzelnden Citrus, der außerdem keine große verdunstende Lauboberfläche bildet, verhältnismäßig wenig zu besagen, da diese Bäume alles benötigte Wasser im Obergrunde finden können, auf den sich die Bewurzelung im wesentlichen beschränkt. Mango ist aber ein Tiefwurzler mit einem der riesigen Kronen- und Blattentwicklung entsprechenden, außerordentlich viel höheren Wasserbedarf. Es ist, obwohl spezielle Messungen darüber leider nicht vorliegen, als ziemlich ausgeschlossen zu betrachten, daß die Wasserzufuhr auf den betreffenden Böden im Untergrunde auch nur entfernt den Ansprüchen des Mango genügt, dessen Wurzeln tatsächlich im Profil an dieser Bodenschicht bereits halt machten.

Da es sich um verhältnismäßig tiefe Untergrundschichten handelt, die der physikalischen oder chemischen Beeinflussung ihres Wasserhaushaltes schwer zugänglich sind, dürfte praktisch wenig gegen diese Erscheinung zu machen sein, außer vielleicht sehr intensiver Drainage.

Bei Anlage von Mangokulturen wird aber jedenfalls eine aufmerksame Beachtung der Wasserbeweglichkeit der Böden im Untergrunde dringend anzuraten sein.

m) Salz- und Alkaliböden (Tabellen 63—65).

Von den Böden dieser Gruppe, die die meliorierten bzw. noch meliorationsbedürftigen Böden umfaßt, verdienen ein besonderes Interesse diejenigen, die als „black alkali-Böden" in Ägypten bezeichnet werden.

Ihr Hauptcharakteristikum ist, daß alle so genannten Böden keinerlei Vegetation tragen. Sie heben sich, meist erst nach erfolgter Melioration, oft wie „Ölflecke" als ständig feuchte Stellen von der Umgebung ab und sind im Gegensatz zu sonst mit „black alkali" gemachten Erfahrungen sehr schwierig zu meliorieren.

Schon bei der Entnahme der Bodenproben konnte festgestellt werden, daß nahezu auf keinen dieser Böden die allgemein anerkannte Definition der „black alkali-Böden" als Böden, die ihren kulturfeindlichen Charakter stark alkalischer Reaktion durch Natronkarbonat verdanken, zutreffen kann. Die Untersuchung der verschiedenen als „black alkali" bezeichneten Vorkommen hat diesen Eindruck bestätigt.

Es handelt sich bei diesen als „black alkali" bezeichneten Profilen wie D 67 um einen schwer versalzenen Ton mit sehr schwach alkalischer Reaktion und ganz minimalem Karbonatgehalt, der ganz enorme Mengen NaCl, Na_2SO_4, $MgCl_2$, $MgSO_4$, vor allem aber auch $CaSO_4$ und $CaCl_2$ enthält. Der Sorptionskomplex des Bodens ist durchaus normal gebaut. Die Wasserbeweglichkeit ist für einen so schweren Ton mit 12,8 kritischer Schichtdicke sogar bemerkenswert groß, was allerdings bei einem Strukturfaktor von 100 als Ergebnis des hohen Gipsgehaltes nicht überraschen kann.

Alle Versuche, diese Böden durch Kalk oder Gips zu meliorieren, welche letztere Maßnahme sonst bei black alkali-Böden von durchschlagender Wirkung ist, sind völlig fehlgeschlagen. Das einzige, was

diesen Böden helfen kann, ist mehrfaches Auswaschen in rauher Furche unter höherer Überstauung und späterem oberflächlichem Ablassen des Wassers. Erst wenn auf diese Weise der Salzüberschuß oberflächlich entfernt ist, der sich nur auf die obersten Dezimeter des Bodens konzentriert, ist gründliche Drainage anzuraten, die allein die enormen Salzmengen, die hier zu bewältigen sind, nicht entfernen kann. Der Boden dürfte nach dieser Behandlung ein sehr gutes Kulturmedium abgeben.

Der Boden hat nicht das mindeste mit tatsächlichem black alkali zu tun und schließt sich eng den Profilen D 41/42, $MB/_{MA}$ und $MC/_{MD}$ an, die durch dieselbe Behandlung sich mit Sicherheit meliorieren lassen, wobei bei den dort geringen Gehalten an löslichen Kalkverbindungen die beiden letztgenannten Profile allerdings eine Behandlung mit Gips lohnen werden, da diese dem „black alkali" jedenfalls viel näher kommen als das als solches bezeichnete Profil.

Zur selben Gruppe gehört auch das Profil D 19/21, das als zukünftiges Versuchsgut der Regierung auf dem Gelände rings um den Mariutsee, namentlich im Hinblick auf die geplante Trockenlegung des Seebeckens, besonderes Interesse verdient. Die gesamte Ausdehnung ähnlicher Gelände in Mittelmeernähe wird auf rund 900000 ha geschätzt.

Die makroskopische Profilgestaltung geht aus Tabelle 63 hervor. In 40—50 cm Tiefe befindet sich ein ganz typisch nicht allein durch höheren Gips- und Natrongehalt, sondern auch durch einen beträchtlich gegenüber den angrenzenden Schichten gesteigerten Tongehalt ausgezeichneter Illuvialhorizont, der zur Zeit die Grenze der Wurzelentwicklung bedeutet. Chemisch ist der Boden bemerkenswert reich bei ganz schwach alkalischer Reaktion.

Bleibt dieser Illuvialhorizont unverändert bestehen, so ist auf gute Erfolge aller Maßnahmen nicht zu rechnen. Seine Entfernung ist die erste Aufgabe der Kultivierung, die sich ebenfalls nur durch oberflächliches Auswaschen wird lösen lassen. Am allerwirkungsvollsten würde es sein, den ganzen Boden bis auf 65—70 cm Tiefe zu kehren und dann die Oberflächenauswaschung vorzunehmen. Erst wenn diese Auswaschung geschehen ist, ist an eine Drainage mit Aussicht auf Erfolg zu denken, die vor der Auswaschung geradezu ein Fehler wäre, da eine Durchströmung des Bodens und damit eine Infiltration

Tabelle 63. Bodenbeschreibung.

Zeichen und Nummer der Probe	Land	Provinz	Tiefe des Musters cm	Inländischer Name der Bodenart	Farbe	Bemerkungen über den Bau des Profils und Grundwasserstand	Bemerkungen über Ertragsklasse, Fruchtfolge, Düngung, evtl. über natürliche Vegetation
D 19 D 20 D 21	Ägypten „ „	Beheira „ „	0—40 40—65 65—85	Soda „ „	grau „ „	Plastischer, leicht humoser Ton mit vielen Muschelresten von kleinen Karbonatkonkretionen durchsetzt, die in der Hauptwurzelzone bei 40 cm ihr Maximum erreichen. Von 40—65 Gips und Karbonathorizont, von Sandstreifen durchsetzt. Darunter bis zum Wasserspiegel ca. 90 cm grauer Ton, braune Flecken	Meliorierter Boden des Mariutsees, teilweise mit Sand überdeckt. Ehemals Salzwiese und Randsumpf. Erträge wegen unzureichender Drainage noch gering. Ausdehnung des Geländes dieser Art 900 000 ha an allen Strandseen. Beste Stelle des Profils
D 41 D 42	„ „	Gharbieh „	0—30 80—100	„ „	schwarz „	Schwerer schwarzer Ton, von 30 cm an von Gips durchsetzt, total von Salz durchtränkt, in 125 cm Tiefe salziges Grundwasser	Schlechteste Stelle des meliorierten Geländes in tiefem Niveau
M B M A	„ „	Kalyubieh „	0—15 50—60	„ „	braun „	Salzausblühungen an der Oberfläche, im Untergrunde reduzierte Flecken, viele Wurzelreste. Ausgeprägter Geruch nach Schwefelwasserstoff. Tiefste Stelle des Birket, salziges Grundwasser in 50 cm	Hartgräser und Salzpflanzen
M C M D	„ „	„ „	0—30 40—50	„ „	„ „	Wenig Salzausblühungen, viele Reste von Wasserpflanzen, stark reduziert in größerer Tiefe, schwarze Flecken, etwas höher als vorhergehendes Muster	Hartgräser und Salzpflanzen
D 48 D 49	„ „	Charkieh „	0—5 5—35	Soda Ramlija	schwarz grau-braun	Oberste Schicht von 5 cm Stärke rautenförmig gerissener Ton, liegt ohne Überzug auf glimmerreichem Feinsand, wahrscheinlich Nilsediment, auf. Dazwischen Andeutung von Salzausblühung. (Wird sicher zu Unrecht als „black alkali“ betrachtet!)	Boden völlig unproduktiv, wahrscheinlich durch Wurzelzerreißung!
D 67	„	Dakalieh	0—10	Soda	schwarz	Typische black alkali-Schicht auf schwerem Ton	Gänzlich ohne Vegetation
D 13 D 14	„ „	Gharbieh „	0—30 30—?	„ „	„ braun	Unter 30 cm Ton liegt eine Feinsandlage sogenannter „black alkali“-Boden	Völlig unproduktiv

Tabelle 64. Physikalische Untersuchung des Bodens.

Zeichen und Nummer der Probe	In % Trockensubstanz Mechanische Zusammensetzung Grobsand I	Feinsand I	Schluff I	Ton I	Grobsand II	Feinsand II	Schluff II	Ton II	Strukturfaktor	Hygroskopisches Wasser	Minimale Wasserkapazität	Totes Wasser für Mais %	Baumwolle %	Weizen %	Bersim %	Kritische Schicht cm	Steighöhe nach 5 Stunden	nach 25 Stunden	Total	1000 × q	Bei Ausgang von % feste Teile	Wasser %	Luft %	Lineare Schrumpf. %
D 19	15,3	25,1	15,7	43,9	16,1	41,6	31,4	10,9	75	8,1	43,9		15,7		18,9	11,2	42	91	128	80	48	50	2	16,0
D 20	1,6	14,8	19,7	63,9	2,5	42,1	55,4	—	100	10,6	54,1		29,5		37,4	7,9	19	54	100	213	41	53	6	15,0
D 21	1,1	10,9	32,3	55,7	2,0	52,3	43,3	2,0	96	11,9	52,0		27,2		33,6	9,9	22	64	123	187	40	48	12	14,0
D 41	2,1	3,7	29,2	65,0	3,1	29,3	67,6	—	100	13,0	57,9		63,4		84,8	8,5	35	72	98	92	41	58	1	18,0
D 42	1,2	11,4	21,4	66,0	2,0	37,5	60,5	—	100	14,0	53,3		56,7		74,9	10,8	45	92	123	71	39	54	7	16,5
M B	3,0	13,0	11,5	72,5	3,0	14,2	22,0	60,8	17	13,1	102,1		64,5		86,3	—	—	—	—	—	30	70	—	19,4
M A	1,5	7,0	1,8	89,7	2,5	29,5	63,5	4,5	95	11,1	78,4		20,1		23,9	—	—	—	—	—	34	62	4	19,5
M C	1,0	11,9	17,5	69,6	1,2	32,0	64,0	2,8	96	11,7	65,5		85,9		117,6	0,2 ?	?	2	2 ?	?	39	55	6	15,0
M D	0,5	8,9	3,8	86,8	0,9	16,4	80,0	2,7	97	13,1	73,9		43,2		55,9	0,6 ?	?	6	6 ?	?	35	60	5	17,0
D 48	0,3	19,2	29,7	50,8	0,8	29,5	24,7	47,0	7	19,3	103,4		50,0		62,9	0,9 ?	0	9	9 ?	?	29	67	4	20,0
D 49	2,1	64,2	14,1	19,6	2,6	74,2	9,5	13,7	30	10,3	37,7		24,3		30,2	2,9	5	18	51	902	51	48	1	4,0
D 67	2,8	4,0	23,4	69,8	3,4	32,0	64,6	—	100	12,5	54,0		80,4		109,4	12,8	58	110	141	51	37	52	11	17,0
D 13	2,0	31,8	27,4	38,8	2,5	39,9	37,0	20,6	47	10,8	51,6		20,2		24,1	2,5	10	23	34	353	42	52	6	16,5
D 14	4,0	44,5	25,8	25,7	4,6	52,0	23,4	20,0	22	12,9	55,2		25,3		30,5	2,1	10	21	29	328	42	53	5	9,5

mit den reichlichen Na-Salzen des Illuvialhorizontes im Interesse der Kulturen gerade unter allen Umständen verhindert werden muß. Bei sachgemäßer Melioration in den gegebenen Linien wird sich der Boden dann in einen wertvollen Acker verwandeln, der gute Versuchsresultate von Wert für den ganzen Bodentypus verspricht.

Das Prinzip der mechanischen Durchbrechung und oberflächlichen Auswaschung flachliegender Illuvialhorizonte geringer Mächtigkeit, wie sie in den Böden des Deltas in großer Verbreitung vorkommen, dürfte überhaupt bei allen Meliorationen in Zukunft die Hauptrolle spielen. Das heute viel geübte Verfahren, sofort zu drainieren und so zu versuchen, den Überschuß der Bodensalze nach unten loszuwerden, ist ein technischer Fehlgriff.

Eine kurze Besprechung erfordert nur noch der zweite Typus sogenannter

„black alkali-Böden“ des Deltas, der durch die Profile D 48/49 Sakka und D 13/14 Gemeza repräsentiert wird.

Es handelt sich dabei um ganz eigenartige Bildungen, die in Ägypten ziemlich verbreitet sind und in ähnlichen Ländern wahrscheinlich in demselben Umfange vorkommen dürften.

Das Typische dieser Profile ist, daß eine wenige Zentimeter bis höchstens Dezimeter umfassende Schicht schweren Tones, in D 48/49 mit außerordentlich hohem Na-Gehalt im Komplex, übergangslos auf mehr oder weniger tonarmem Feinsand aufliegt. Teils ist — D 48/49 — dieser Ton außerdem noch stark mit Salz, und zwar speziell Na-Salzen, imprägniert. Die Wasserbeweglichkeit ist sowohl in der Ton- wie in der unterliegenden Schicht außerordentlich schlecht.

Schon in diesem Umstand liegt fraglos einer der Gründe, daß der-

Tabelle 65. Chemische Untersuchung des Bodens (Analysendaten).

Zeichen und Nummer der Probe	p_H in Wasser	p_H in n-KCl	C %	N %	C/N	P_2O_5 Total %	P_2O_5 nach NEUBAUER mg	Karbonate	Zusammensetzung der löslichen Salze in Milliäquivalent: Na	K	Mg/2	Ca/2	Zusammensetzung der Komplexsättigung in Milliäquivalent: H	Na	q_{Na}	K	q_K	Mg/2	q_{Mg}	Ca/2	q_{Ca}	S	q_S	T	V %	K in Milliäquivalent nach NEUBAUER
D 19	7,8	7,6	1,19	0,09	13	0,072	—	0,26	2,35	0,07	0,15	0,60	0,79	2,60	22,2	1,59	72,2	10,29	2,52	16,97	1,26	31,45	0,88	32,14	98	0,75
D 20	7,6	7,6	1,06	0,04	26	0,153	—	0,23	5,86	0,18	3,67	13,13	0,72	2,36	25,2	2,40	125,0	9,75	4,44	27,68	0,96	42,19	0,88	42,91	98	1,15
D 21	7,6	7,6	1,02	0,04	25	0,121	—	0,26	5,36	0,11	1,24	3,32	0,84	3,74	24,0	3,81	169,9	10,45	2,96	26,64	0,76	44,64	0,84	45,48	98	1,09
D 41	7,6	7,6	1,10	0,05	22	0,123	2,1	0,23	24,79	0,22	6,18	14,62	0,49	7,09	6,8	1,43	134,2	18,59	1,58	22,64	2,83	49,75	0,98	50,24	99	0,49
D 42	7,6	7,6	1,06	0,04	26	0,079	1,4	0,26	19,62	0,11	5,80	10,96	0,59	9,58	23,5	0,89	210,4	16,92	2,78	24,69	0,62	52,08	0,84	52,67	99	0,33
MB	10,0	9,8	1,51	0,13	12	0,18		0,25	31,62	0,42	—	0,24	—	14,00	?	5,41	31,8	16,92	20,80	3,68	?	40,00	0,68	40,00	100	—
MA	8,6	8,2	0,91	0,05	18	0,15		0,20	2,43	0,07	—	0,38	0,67	3,50	?	1,28	18,7	17,82	2,00	21,84	?	44,44	0,76	45,11	98	—
MC	9,0	8,4	1,41	0,08	18	0,19		0,19	45,92	0,52	2,42	1,20	—	4,65	?	11,85	56,9	19,01	3,00	1,39	?	36,90	0,76	36,90	100	—
MD	8,6	8,0	1,01	0,04	25	0,19		0,17	16,50	0,33	—	0,70	0,48	11,47	?	1,52	12,4	24,10	1,60	8,36	?	45,45	0,76	45,93	99	—
D 48	10,0	9,0	1,03	0,08	13	0,150	—	0,80	14,97	0,06	—	0,16	—	36,58	0,35	3,03	49,0	3,39	38,94	5,08	10,44	48,08	0,52	48,08	100	0,09
D 49	10,0	8,0	0,83	0,03	28	0,059	—	0,80	6,30	0,02	—	0,18	—	14,24	1,2	1,50	55,2	4,00	4,94	11,41	0,75	31,15	0,52	31,15	100	0,15
D 67	7,6	7,0	1,52	0,08	19	0,067	1,8	0,10	30,86	0,27	12,94	19,14	0,47	5,63	13,4	1,84	59,2	15,92	2,62	25,15	1,94	48,54	1,04	49,01	99	—
D 13	8,2	7,6	1,14	0,07	16	0,037	—	0,54	2,84	0,04	—	0,16	1,10	7,87	3,9	1,75	78,0	11,39	2,62	16,30	1,50	37,31	0,82	38,41	97	0,72
D 14	8,0	7,6	0,91	0,03	30	0,075	—	0,59	4,27	?	—	0,12	0,75	18,19	0,4	1,05	137,3	11,74	3,72	6,75	6,47	37,73	0,66	38,48	98	—

artige Böden nicht nur nichts produzieren, sondern teilweise sogar keinerlei Vegetation tragen. Ein weiterer Grund dürfte aber darin zu suchen sein, daß diese strengen Tonschichten bei fast fehlender Wasserzuleitung beim Austrocknen entsprechend ihrem hohen Schrumpfungskoeffizienten sehr stark reißen, während der Untergrund nicht nachgibt, so daß alle Wurzeln dadurch dauernd zerstört werden.

Daß auf diesen Böden bei ihrem kleinen Gehalt an löslichen Kalkverbindungen starke Gipsdüngung, und zwar zur Verbesserung der Tiefenwirkung mit Kalisalzen kombiniert, in gewissem Maße Wandel schaffen kann, unterliegt keinem Zweifel, ob aber, da es sich meistens um sehr kleine Flächen handelt, eine derartige Melioration lohnen wird und es nicht vorzuziehen ist, die Böden aus dem Kulturplan auszuschalten, ist eine offene Frage.

Zusammenfassung.

Unsere Untersuchungen über den landwirtschaftlichen Wert von Böden aus dem Sudan und aus Ägypten mußten besonders die Frage des Wasserhaushaltes behandeln, da dieser bei irrigierten Böden ein entscheidendes Kriterium für die Beurteilung bildet. Unter den chemischen Faktoren, die den Wasserhaushalt beeinflussen, stellte sich als wichtigster der Gehalt des Bodens an Natriumion heraus, da dieses eine Dichtschlämmung der Böden befördert, welche die Ausnutzung des Irrigationswassers beeinträchtigt. Ein Ersatz des Natriumions durch das weniger hydratisierte Kaliumion erschien als eine Möglichkeit, um die Wasserbeweglichkeit und Wasserdurchlässigkeit dieser Böden zu verbessern und dadurch den Boden auf chemische Weise zu meliorieren.

Bei der Betrachtung des Nährstoffhaushaltes der Böden erwies es sich als notwendig, die Festlegung von Düngerkali durch Adsorptionsvorgänge zu beachten, da sonst die Ergebnisse von Düngungsversuchen irreführend sein können. Auch der Ionenantagonismus Ca-Mg muß bei der Düngung dieser Böden Berücksichtigung finden.

Was die einzelnen untersuchten Bodenarten betrifft, so zeigte sich, daß die Baumwollböden des Gashdeltas, auf denen die Baumwolle besonders günstige Wachstumsbedingungen findet, außerordentlich

kalireich sind. Die Bodenlösung ist teilweise zwar weniger reich an Kali; infolge ihrer guten Beweglichkeit führt sie aber den Pflanzen genügend Kali zu. Magnesium ist in verhältnismäßig geringer Menge vorhanden. Es scheint die Möglichkeit vorzuliegen, daß Magnesiadüngung noch zu Ernteerhöhungen führen könnte.

Bei der Untersuchung von Böden des Weißen Nil in der westlichen Gezirah und im Irrigationsgebiet von Ed Dueim ergab sich, daß die Höhe der Ernten teilweise durch ungenügende Wasserversorgung vermindert wird. Unsere Analysen zeigten, daß die Wasserbeweglichkeit dadurch verschlechtert ist, daß die Tonteilchen der Böden zu einem großen Teil mit Natrium abgesättigt sind, welches den Boden dicht schlämmt. Ein Ersatz des Natriums durch Kalzium mit Hilfe von Gips verbessert die Wasserhaltung; noch wirksamer dürfte eine chemische Melioration mit Kaliumsulfat sein. Infolge der Sättigung mit Natrium weisen die Böden eine sehr hohe Quellung auf, so daß nur geringe Mengen von Irrigationswasser eindringen können. Auf diesen Böden können nur solche Kulturmaßnahmen Erfolg haben, die den Wasserhaushalt des Bodens verbessern, und da Wasserbeweglichkeit und Wasserdurchlässigkeit von der Zusammensetzung der Tonteilchen abhängig sind, muß man versuchen, den Ton mit anderen Kationen zu sättigen. Der Kaligehalt der Böden der Gezirah ist gering, so daß Mangel an löslichem Kali als Ursache für die geringen Ernten zu betrachten ist. Die durchgeführten Düngungsversuche, die keine Kaliwirkung zeigten, widerlegen dies nur scheinbar, denn von diesen Böden wird das verabfolgte Kali außerordentlich stark festgelegt, so daß erst ganz abnorm hohe Gaben von Kali eine Nährstoffwirkung zeigen können. Diese enorm hohen Gaben von Kali können sich auf diesen Böden dadurch rechtfertigen, daß Kali auf Böden mit Natriumton eine Meliorationswirkung durch wesentliche Verbesserung des Wasserhaushaltes der Böden entfalten kann, die größer ist als die von wesentlich stärkeren Gipsgaben. Vor allem erstreckt sich die Wirkung von Kaliumsulfat wegen seiner Löslichkeit auf größere Tiefen.

Auch auf den schweren Tonböden des Fayum ist mit einer schnellen Kaliwirkung bei gegebener Düngung nicht zu rechnen, da auch diese Böden das Düngerkali zu stark festlegen. Erst größere Gaben werden einen Erfolg geben, auch hier wieder in Richtung

einer Melioration. Da diese Böden einen im Verhältnis zum Kalk sehr hohen Magnesiagehalt aufweisen, besteht die Möglichkeit, daß eine Düngung mit Chlorkalium oder schwefelsaurem Kali so hohe Magnesiamengen in Lösung bringt, daß sie dem Gedeihen der Pflanzen abträglich sind. Als zweckmäßigste Formen der Kalidüngung erweist sich hier das Kaliumnitrat, da dessen Anion von den Pflanzen rasch aufgenommen wird. Am zweckmäßigsten dürfte eine Behandlung des Bodens mit Kalk und Kaliumnitrat sein, um bei der Melioration gleichzeitig eine Oberflächen- und Tiefenwirkung zu erzielen und dadurch den Kaligehalt des Bodens zu verbessern.

Im oberen Niltale wurden Böden untersucht, die Kulturböden ersten Ranges darstellen. Die Bodenkomplexe weisen hier eine gut ausbalancierte Zusammensetzung auf, das verfügbare Kali ist noch ausreichend, stammt aber hauptsächlich aus der Bodenlösung. Ein Teil der Böden ist durch Anwendung von natronhaltigen Düngemitteln infolge Peptisation des Tones durch Na in seiner Struktur verschlechtert. Es hat sich in geringer Tiefe ein Illuvialhorizont gebildet, der den Boden verflacht. Neben einer Düngung mit Phosphorsäure ist hier eine Anreicherung an Kali und Magnesia zu empfehlen. Auf anderen Böden dieses Gebietes lassen sich gute Ernten nur bei starker Düngung erzielen. Ein Aussetzen der Düngung hat schnellen Ernterückgang zur Folge. Das Kali wird von diesen Böden nicht festgelegt, so daß es sofort zur Wirkung kommt, aber auch keine Nachwirkung zeigt.

Von großer Wichtigkeit für den Anbau von Fruchtbäumen sind die Sandböden in der Provinz Gharbieh. Diese Böden haben eine sehr beachtenswerte Wasserbeweglichkeit, ihr Kaligehalt ist zwar augenblicklich noch ausreichend, da aber Reserven in Form von mineralischem Kali kaum vorhanden sind, müssen diese Böden bei Bewässerung sehr rasch an Kali verarmen.

Die sogenannten Tammböden des Deltas sind durch eine harmonische Ausbildung der Bodenlösung und der Bodenkomplexe ausgezeichnet, die aber anscheinend das Ergebnis der bisher gegebenen Düngung ist. Immerhin werden die gegebenen Düngermengen auf diesen Böden fast restlos durch die dort angebauten Bananen aufgenommen, deren Bestand nur von der Düngerzufuhr lebt.

Die Kahla- und Ssafraböden des Deltas weisen eine große Undurchlässigkeit des Untergrundes auf, sowie eine weitgehende Beschränkung der Ausnutzbarkeit der Bodenstoffe. Soweit auf diesen Böden eine starke Stallmistdüngung gegeben wurde, ist das Kali in der Oberkrume festgelegt worden. Da diese Böden das Kali sehr stark binden, bieten erst größere Kaligaben Aussicht auf Erfolg. Am zweckmäßigsten führt man diese in Form von Kalisalpeter zu, der als Stickstoffdünger wegen seines Freiseins von Natrium zu empfehlen ist und anderseits eine meliorierende Wirkung ausübt. Auf den sogenannten Soda- und Black alkali-Böden des Deltas, die bereits reich an verfügbarem Kali sind, empfiehlt sich an Stelle des Kalisalpeters der Kalksalpeter; besonders dann, wenn im Boden ein im Verhältnis zum Kalkgehalt besonders großer Mg-Gehalt vorhanden ist. Die Anwendung von Natriumsalzen ist zu vermeiden, da diese den Boden dicht schlämmen.

Die Salz- und Alkaliböden enthalten schwer versalzenen Ton mit hohen Mengen von NaCl, Na_2SO_4, $MgCl_2$, $MgSO_4$ sowie $CaCl_2$ und $CaSO_4$. Diese Böden lassen sich nicht durch Kalk oder Gips meliorieren; erst nachdem durch eine Oberflächenauswaschung der Salzüberschuß entfernt ist, kann man mit Aussicht auf dauernden Erfolg die Illuvialhorizonte durchbrechen und den Boden drainieren.

Obgleich wir bemüht waren, eine systematische Untersuchung der landwirtschaftlich wichtigsten Böden vom Sudan und von Ägypten durchzuführen, sind wir uns bewußt, daß unsere Arbeit bei der Größe des Gebietes nur vereinzelte Anhaltspunkte geben konnte. Wir hoffen aber, daß unsere Untersuchungen nach der Lichterfelder Methode geeignet waren, Unterlagen für die richtige Düngung und Winke für eine zweckmäßige Melioration der Böden dieses Gebietes zu geben.

SUMMARY.

In our investigations on the agricultural value of soils from the Sudan and Egypt special attention had to be given to the water economy, as on such irrigated soils the latter is the chief factor determining agricultural value. Among the chemical factors influencing the water economy the sodium content of the soil proved to be the most important as the sodium ion promotes puddling and thus impairs the beneficial effect of irrigation. The displacement of the sodium ion by the less hydrated potassium ion would appear to afford a possibility of improving freedom of water movement and the permeability of such soils.

In considering the plant food economy of these soils it was found necessary to take into consideration the absorption of potash applied as fertiliser by the soil colloids in order to avoid errors in the interpretation of fertiliser experiments. The antagonism existing between calcium and magnesium must also be considered in the manuring of these soils.

As regards the different soil types examined it was found that the cotton soils of the Gash Delta, on which conditions appear particularly favourable to the growth of the cotton plant, were extraordinarily rich in potash. The concentration of potash in the soil solution was not always so high but as a result of the freedom of water movement these soils can supply potash to the crop at a sufficient rate to maintain satisfactory growth. The magnesium content of these soils was comparatively low, so that it might be possible to increase yields by applications of magnesium salts.

In our investigations on soils from Western Gezirah and the irrigated areas of Ed Dueim and of the White Nile it was found that on these soils yields are limited partly by deficiencies in the supply of water to the crop. Our analyses showed that the resistance to water movement in these soils is increased by the fact that the clay particles are to a large extent saturated with sodium, which tends to increase the degree of dispersion of the soil. The displacement of the sodium by calcium applied as gypsum helps to improve the water economy of these soils but still better results would be obtained by applications of potassium

sulphate. As a result of their high content of sodium the soil colloids imbibe large quantities of water and swell up, thus preventing the percolation of the irrigation water through the soil. On such soils only those cultivation methods which tend to improve the water economy of the soil will give satisfactory results and as freedom of water movement and permeability are dependent on the composition of the clay particles, such methods must aim at saturating the clay particles with cations other than sodium. The potash content of the Gezirah soils is low, so that lack of available potash may be taken as being the reason for the low yields in this district. The fact that fertiliser experiments carried out in this area failed to show an effect of potash manuring is only an apparent contradiction of our findings, as these soils absorb potash so energetically, that it would require the use of abnormally high potash applications to produce a response. The use of such heavy dressings would however be justified by the fact that on sodium clays potash applications not only enrich the soil in this nutrient but also have a beneficial effect on the physical properties of the soil by improving the water economy. Their effect in this respect is in fact much greater than that of much higher applications of gypsum. Another important point is that as a result of its greater solubility potassium sulphate can act on the soil to a greater depth than gypsum.

In the case of the Fayum soils normal applications of potash will produce no effect for the same reasons as in the case of the Gezirah soils. Very heavy dressings would be necessary to produce a response to potash manuring and, as in the case of the Gezirah soils, such high applications would also improve the physical properties of these soils. On the other hand their magnesium content greatly exceeds their calcium content and heavy applications of potassium chloride or sulphate might bring such large quantities of magnesium into solution as to be detrimental to the growth of the crop. On this account it would be safer to use potash in nitrate form, as in the case of this fertiliser the anion is also absorbed rapidly by the plant. The most satisfactory results would probably be obtained by the combined use of lime and potassium nitrate as this would not only ensure the improvement of the soil properties in the surface and deeper lying layers but also increase the potash content of the soil.

Our investigations also included analyses of the Ssafra soils of the Upper Nile Valley which are of very high agricultural value. The colloid complex is well balanced in composition and the supply of available potash adequate, although it is confined to the soil solution. The structure of some of these soils has deteriorated owing to the deflocculation of the clay as a result of the use of fertilisers containing large amounts of sodium. Illuvial horizons have been formed near the surface, tending to make the soil shallow. In addition to phosphatic manuring applications of potash and magnesia should give good results on these soils. On other soils in this area satisfactory crops can only be obtained by the use of heavy dressings of fertilisers and neglect of manuring tends to produce rapid decreases in yield. As these soils do not absorb appreciable amounts of potash, potassic fertilisers will act quickly, but no residual effect of potash applications will be observed.

The sandy soils of the province Gezirah are of great importance for fruit growing. Water can move very freely in these soils and their content of available potash is at present sufficient for the production of satisfactory crops. On the other hand they contain no reserves of potash in the form of potash-bearing minerals so that the constant irrigation practised here will tend to exhaust them rapidly of this plant food.

The so-called Tamm soils of the Delta are distinguished by the well-balanced composition of the soil solution and the colloidal complex, which however is probably a result of previous manurial practice. Still the nutrients contained in the fertiliser are absorbed completely by the banana crop, manuring being absolutely necessary for proper growth.

The Kaala soils of the Delta are notable for the impermeability of the sub-soil and the very limited availability of the plant nutrients which they contain. Soils of this type receiving heavy applications of farmyard manure tend to fix potash in the surface layers. As they all absorb potash very energetically, satisfactory results can only be obtained when heavy applications are used. Potash is best used in the form of potassium nitrate, which can be recommended not only as a nitrogen fertiliser on account of its freedom from sodium but also

as a means of improving the physical properties of the soil. On the black soils of the Delta, which contain sufficient available potash, calcium nitrate can be used instead of potassium nitrate, especially in cases in which the magnesium content greatly exceeds the calcium content of the soil. The use of sodium salts is to be avoided, as these soils tend to become deflocculated easily.

The clay fractions of saline and alkali soils contain large amounts of $NaCl$, Na_2SO_4, $MgCl_2$, $MgSO_4$, $CaCl_2$ and $CaSO_4$. The physical properties of these soils cannot be improved by additions of lime or gypsum, the only method of improvement being to leach out the excess of salt from the surface soil (by flooding with water). After such treatment it is possible to break through the illuvial horizons and drain these soils properly.

Although we attempted to carry out a systematic investigation on the most important soils of the Sudan and Egypt, we realise, that on account of the size of these countries our work can only yield general indications of soil conditions there. We hope, however, that the data obtained by the application of the Lichterfelde Method will prove a contribution towards the solution of problems concerning the proper manuring and practical improvement of the soils in these areas.

II. Pflanzenphysiologische Untersuchungen.

Als größte Schwierigkeit bei der Beurteilung des Düngebedarfes eines Bodens auf Grund einer Bodenuntersuchung bezeichnet MITSCHERLICH die Aufgabe, den Anschluß an die Pflanze zu finden, d.h. sich ein Bild davon zu verschaffen, wieweit die Pflanze die bei der Analyse gefundenen Nährstoffe tatsächlich aufnehmen und verarbeiten kann. Um die Grundlagen für eine zweckmäßige Düngung mit Kali zu befestigen und zu erweitern, ist es unerläßlich, nähere Einblicke in den Verlauf der Aufnahme dieses Nährstoffs durch die Pflanze zu gewinnen. Pflanzenphysiologische Untersuchungen über Fragen, die mit der Aufnahme und weiteren Verarbeitung des Pflanzennährstoffs Kali in Verbindung stehen, bildeten daher einen wesentlichen Teil unseres Arbeitsprogrammes. Wir untersuchten sowohl durch rein physiologische Versuche mit Keimpflanzen im künstlich eingestellten Klima unseres Tropenhauses wie auch durch Bearbeitung der Ergebnisse unserer Dauerversuche im Freilande, in welcher Weise der Eintritt von Kali in die Pflanze von der Witterung und der Zusammensetzung der Bodenlösung abhängig ist. Ein Einfluß der Witterung auf die Kaliaufnahme war nicht festzustellen, dagegen war der Verlauf der Aufnahme abhängig von dem Mengenverhältnis des Kalis zu anderen Nährstoffen, die der Pflanze gleichzeitig angeboten wurden. In weiteren Versuchen wurde insbesondere geprüft, welchen Einfluß ein verschiedenes Verhältnis von Kali zu Stickstoff und Phosphorsäure auf den morphologischen Bau von Getreidehalmen hat. Für die Standfestigkeit von Getreide erwies es sich dabei als vorteilhaft, wenn bei Anwendung erhöhter Stickstoff- und Phosphorsäuregaben auch entsprechend erhöhte Kaligaben verabfolgt wurden. Das Verhältnis von Korn zu Stroh wurde in seiner Abhängigkeit von Boden, Witterung und Düngung betrachtet; es ergab sich, daß es nicht möglich ist, bei der Aberntung von Getreidedüngungsversuchen auf die getrennte Ermittelung von Korn und Stroh zu verzichten und ein mehr oder weniger schematisches Korn-Stroh-Verhältnis zugrunde zu legen.

Unsere früheren Untersuchungen über die Magnesiafrage hatten bestätigt, daß dieses Element neben den sogenannten Hauptnährstoffen

N, P, K, Ca bei der Düngung nicht übersehen werden darf, denn bei einem Mangel an Magnesium treten sofort schwere Schädigungen der Ernte ein. Da eine sichere Methode, um durch Bodenuntersuchung die Gefahr eines Magnesiamangels rechtzeitig zu erkennen, noch nicht ausgearbeitet werden konnte und leichte Böden in Deutschland häufig Kalimangel zeigen, hielten wir es für empfehlenswert, der deutschen Landwirtschaft ein magnesiahaltiges Kalidüngemittel anzubieten, welches nur so viel $MgSO_4$ enthält, daß dem Auftreten von Magnesiamangelschäden mit Sicherheit vorgebeugt werden kann, daß es aber durch den Magnesiazusatz in seiner Herstellung nicht wesentlich gegenüber dem 40er Kalidüngesalz verteuert wird. Als Ergebnis unserer Untersuchungen konnte der deutschen Landwirtschaft ein diesen Anforderungen genügendes Düngemittel in einem Kalidüngesalz mit einem garantierten Gehalt von 5 % schwefelsaurer Magnesia angeboten werden.

Da in neuerer Zeit mehrfach eine günstige Wirkung von früher für unwesentlich gehaltenen Elementen auf die Entwicklung der Pflanze festgestellt wurde, prüften wir die pflanzenphysiologische Wirkung einer Reihe von solchen Elementen. Wir untersuchten zunächst die Wirkung von Rubidium und Caesium, die mit dem Kali verwandt sind und mit den Kalisalzen vergesellschaftet vorkommen; ferner die Wirkung von Aluminium mit Rücksicht auf seine Rolle bei der Austauschazidität, sowie von Mangan und Germanium.

Da zu den Aufgaben unserer Versuchsstation auch die Beratung tropischer Landwirte gehört, wurden mit Hilfe der Einrichtungen unseres Tropenhauses auch pflanzenphysiologische Studien an Tropenpflanzen vorgenommen. Die Nährstoffaufnahme von Reiskeimpflanzen wurde im Hinblick auf eine eventuelle Übertragung der Neubauer-Methode auf tropische Verhältnisse einer Prüfung unterworfen. Amerikanische Beobachtungen über einen günstigen Einfluß der Kalidüngung auf die Qualität der Baumwollfaser veranlaßten uns, die Wirkung der Kalidüngung auf die Ausbildung der Baumwollfaser nachzuprüfen, wobei die kleinen Parzellen unseres Tropenhauses uns die Möglichkeit boten, ein besser vergleichbares Material zu erhalten, als dies bei Feldversuchen möglich ist, bei welchen Bodenunterschiede das Ergebnis trüben können.

PHYSIOLOGICAL INVESTIGATIONS.

MITSCHERLICH stated that the greatest difficulty encountered in the interpretation of the results of soil analyses is the correlation of the analytical data with the actual requirements of the crop i.e. to ascertain the extent to which the plant is capable of absorbing and utilising the nutrients found by analysis. In order to establish the practice of potash manuring on a rational and scientific basis it is therefore necessary to obtain an insight into the processes involved in the absorption of this plant food by the crop. On this account our research programme includes physiological investigations of problems connected with the absorption and utilisation of the nutrient potassium by the plant. By means of physiological experiments with plant seedlings carried out under artificially controlled conditions in our tropical glass house and of field experiments, a study was made of the relationship existing between the absorption of potash by the plant on the one hand and climatic conditions and the composition of the soil solution on the other. No correlation could be found between the assimilation of potash and weather conditions; on the other hand it was shown that the process of absorption is dependent on the ratio between the amount of potash and that of the other nutrients available for the plant.

Other experiments were carried out with a view to determining the influence of the balance between potash, nitrogen and phosphoric acid on the morphological structure of cereals. The results of these experiments proved that in order to produce a strong straw care must be taken to use a well balanced fertiliser, i.e. when heavy dressings of nitrogen and phosphoric acid are given, the potash application must be increased accordingly. The relationship between the ratio of grain: straw and soil properties, weather conditions and manuring was also studied. The experimental data indicated that the practice — frequently adopted in harvesting experiments — of determining only the total yield and using the average grain: straw ratio, obtaining locally, to calculate the yields of grain and straw on the different plots, is apt to give misleading results.

In previous investigations we showed that magnesium was more important as a fertiliser constituent than was formerly thought and should not be overlooked in manurial practice; for, magnesium deficiency, which is frequently met with on some of the lighter German soils, causes severe damage to crops. Since a reliable method of detecting magnesium deficiency in soils by laboratory investigations has not yet been developed, we have considered it advisable to put special potash fertilisers on the market in Germany, which contain sufficient soluble magnesium ($MgSO_4$) to prevent the occurrence of magnesium deficiency.

In recent years numerous cases in which plant growth has benefited from applications of elements formerly thought of no importance in this respect, have been reported in scientific literature. On this account we decided to examine the effects of a number of such elements on plant growth starting with rubidium and caesium, as these elements are chemically related to potassium and occur in nature associated with potassium salts. Further studies were made of the effects of manganese, germanium and aluminium, of the latter because of the part it plays in soil acidity.

As our experiment Station is interested in obtaining an insight into the problems with which planters in the tropics have to contend, a series of physiological investigations on different tropical plants was carried out in our tropical glass house, under conditions in respect to temperatures and humidity similar to those obtaining in the countries in which the crops in question are grown. The assimilation of nutrients by the rice plant was studied with a view to ascertaining the possibility of applying the Neubauer method of soil analysis under tropical conditions. American observations of a beneficial effect of potash manuring on the quality of cotton caused us to investigate the effect of potassium on the structure of cotton fibre. These investigations were carried out on cement plots under glass and some useful data was obtained.

1. Beziehungen zwischen Transpiration und Diffusion bei der Aufnahme von Kali aus Nährlösungen durch Keimpflanzen.

Die Aufnahme von Nährstoffen durch die Pflanze pflegt man sich in der Weise vorzustellen, daß die Blätter der Pflanze Wasser verdunsten und daß die Pflanze, um die dadurch bewirkte Steigerung des osmotischen Druckes der Zellflüssigkeit auszugleichen, durch ihre Wurzeln Wasser aus dem Boden aufnimmt. Da dieses Wasser Salze gelöst enthält, treten mit dem Transpirationsstrom auch die in der Bodenlösung enthaltenen Stoffe in die Pflanze ein. Die Erfahrung hat nun gelehrt, daß die Pflanze die in der Bodenlösung enthaltenen Ionen nicht gleichmäßig aufnimmt. Gewisse Ionen haben ein stärkeres Eindringungsvermögen, andere wieder ein schwächeres. Man schreibt diese Unterschiede der verschiedenen Größe der Ionen wie auch ihrer unterschiedlichen elektrischen Ladungskonzentration zu und nimmt an, daß die Membranen der Pflanzenwurzeln gleichsam wie ein Sieb durch mechanische oder elektrische Kräfte den Eintritt der verschiedenen Ionen regeln.

Da sich die in der Bodenlösung anwesenden Ionen bei dem Durchgang durch die Membranen der Pflanze gegenseitig beeinflussen, hängt die Aufnahme eines bestimmten Ions durch die Pflanze nicht nur von seiner Konzentration in der Bodenlösung, sondern auch von seinen Begleitstoffen ab. Dieser Umstand ist für die Auswertung von Bodenanalysen von Wichtigkeit. Wenn wir z. B. gefunden haben, daß nach der Keimpflanzenmethode bei gewissen Böden höhere oder geringere Mengen an K festgestellt wurden, als nach einem Vergleiche mit einer chemisch-physikalischen Bodenuntersuchung zu erwarten war, so dürfte dies sicher mit einer Beeinflussung der Aufnahme der K-Ionen durch andere in der Bodenlösung enthaltene Ionen zu erklären sein. Auch hinsichtlich der Ausnutzung von Düngemitteln wurde festgestellt, daß die Aufnahme der verabfolgten Nährstoffe von den Nebenbestandteilen der Düngemittel abhängig war. Es ergaben sich Andeutungen, daß die Aufnahme am höchsten bei konzentrierten Düngemitteln war, was ebenfalls im Sinne eines Einflusses von Nebenbestandteilen aufgefaßt werden kann. Da der Mechanismus der Aufnahme der einzelnen Nährstoffe in vieler Hinsicht für das Verständnis pflanzenphysiologischer

Vorgänge von Bedeutung ist, unternahmen wir es, in einem Versuch mit Roggenkeimpflanzen zu untersuchen, wie sich die Ionen bei der Aufnahme durch die Keimpflanzen gegenseitig beeinflussen.

Wir führten zur Beantwortung dieser Frage einen Keimpflanzenversuch nach folgendem Plan (Tabelle 1) durch: Die beiden Gruppen des Versuches wurden auf einer Grundreihe aufgebaut, die 1 mval N in NH_4NO_3, 0,75 mval PO_4 und 0,25 mval K in KH_2PO_4 als Düngung erhielt. Die Aufnahme steigender K-Mengen aus KH_2PO_4, K_2SO_4 und KCl wurde einmal ohne und einmal in Gegenwart von Na, Ca und Mg untersucht.

Die Beeinflussung der Kationenaufnahme durch wechselnde Mengen von Na, Ca und Mg wurde auf der Grundlage 1,0 mval N, 0,75 mval PO_4 und 1 mval K untersucht. Die

Tabelle 1. Versuchsplan.

1. K-Steigerung.

Grunddüngung	K-Gabe ohne Na, Ca, Mg Gr. 1	Gr. 2	Grunddüngung	K-Gabe mit Ca, Na, Mg Gr. 1	Gr. 2
1,0 mval N (als NH_4NO_3) 0,75 „ PO_4 (als KH_2PO_4)	mval SO_4	mval Cl	1,0 mval N 0,75 „ PO_4 0,25 „ Na 0,25 „ Ca 0,25 „ Mg } als NaCl bzw. Na_2SO_4 usw.	mval SO_4	mval Cl
+ 0,25 mval K	—		+ 0,25 mval K	0,75	
+ 0,5 „ K	0,25		+ 0,5 „ K	1,0	
+ 0,75 „ K	0,5		+ 0,75 „ K	1,25	
+ 1,0 „ K	0,75		+ 1,0 „ K	1,50	

2. Na-Steigerung. / 3. Ca-Steigerung.

Grunddüngung	Na-Gabe Gr. 1	Gr. 2	Grunddüngung	Ca-Gabe Gr. 1	Gr. 2
1,0 mval N (als NH_4NO_3) 0,75 „ PO_4 (als KH_2PO_4) 1,0 „ K (davon 0,25 als KH_2PO_4, 0,75 als K_2SO_4 bzw. KCl) 0,25 „ Ca (als $CaSO_4$ bzw. $CaCl_2$) 0,25 „ Mg (als $MgSO_4$ bzw. $MgCl_2$)	mval SO_4	mval Cl	1,0 mval N (als NH_4NO_3) 0,75 „ PO_4 (als KH_2PO_4) 1,0 „ K (davon 0,25 als KH_2PO_4, 0,75 als K_2SO_4 bzw. KCl) 0,25 „ Na (als Na_2SO_4 bzw. NaCl) 0,25 „ Mg (als $MgSO_4$ bzw. $MgCl_2$)	mval SO_4	mval Cl
+ 0,125 mval Na	1,375		+ 0,125 mval Ca	1,375	
+ 0,25 „ Na	1,5		+ 0,25 „ Ca	1,5	
+ 0,5 „ Na	1,75		+ 0,5 „ Ca	1,75	
+ 1,0 „ Na	2,25		+ 1,0 „ Ca	2,25	

Tabelle 1 (Fortsetzung).

4. Mg-Steigerung.

Grunddüngnng	Mg-Gabe Gr. 1	Mg-Gabe Gr. 2
1,0 mval N (als NH_4NO_3) 0,75 „ PO_4 (als KH_2PO_4) 1,0 „ K (davon 0,25 als KH_2PO_4, 0,75 als K_2SO_4 bzw. KCl) 0,25 „ Na (als Na_2SO_4 bzw. NaCl) 0,25 „ Ca (als $CaSO_4$ bzw. $CaCl_2$)	mval SO_4	mval Cl
+ 0,125 mval Mg	1,375	
+ 0,25 „ Mg	1,5	
+ 0,5 „ Mg	1,75	
+ 1,0 „ Mg	2,25	

Nährlösungen wurden in Gruppe 1 als Sulfate und in der Gruppe 2 als Chloride verabfolgt. Der Ansatz erfolgte mit fünf Gefäßen, von denen vier mit je 100 Roggenkörnern besteckt wurden; das fünfte Gefäß wurde nicht angesät, aber im übrigen während der Versuchsdauer genau wie die anderen behandelt, d. h. es wurde immer auf gleiches Gewicht mit Wasser gebracht und die Verdunstung durch Gewichtsdifferenz festgestellt. Das Gefäß diente also zur Feststellung der absoluten Verdunstungswerte ohne Bepflanzung. Um auch die Größenordnungen für die Verdunstung nicht gedüngter Gefäße zu erhalten, wurde eine Blindreihe in reinem Sand angesetzt, von der wiederum vier Gefäße zur Bestimmung der Verdunstungsgröße ohne Düngung mit je 100 Roggenkörnern bepflanzt wurden. Das fünfte Gefäß dieser Gruppe wurde nicht besät und diente zur Verdunstungsmessung des Sandgefäßes ohne Bepflanzung.

Über den Verlauf der Vegetationsperiode sind nur wenige Bemerkungen zu machen. Das Auflaufen erfolgte am dritten und vierten Tage. Eine geringe Keimverzögerung trat bei den chloridischen Salzen ein. Während der Wachstumszeit zeigte sich, daß, abgesehen von der langsamen Entwicklung der Blindansätze, die Sulfatreihen durchweg gleichmäßig wuchsen, was bei den Chloridreihen, besonders bei den Reihen mit hohen Chloridgaben, nicht der Fall war. Diese Reihen waren im Vergleich mit den entsprechenden Sulfatreihen etwas schwächer entwickelt.

Die Temperatur betrug im Gewächshaus durchschnittlich 20° bei einer gleichmäßigen relativen Feuchtigkeit von 60%. Dieser mittlere Feuchtigkeitsgrad wurde gewählt, damit die Transpiration relativ hoch lag.

Schon vom ersten Tage an wurde die Transpiration durch Messung der täglichen Wasserverluste der bepflanzten und unbepflanzten Schalen festgestellt. Dabei konnten wir die Beobachtung machen, daß während der ersten 6—8 Tage die Verdunstung der unbepflanzten Gefäße um 2—3 g, entsprechend 20—30%, größer war als der Wasserverlust der mit Pflanzen besetzten Schalen. Erst mit der kräftigen Entwicklung der Sprosse nach 7 bis 8 Tagen waren die Transpirationsverluste der bepflanzten Schalen größer, und zwar um 50—100%, als die Verdunstungsverluste der unbepflanzten Schalen.

Die Gesamtwasserverluste der bepflanzten Schalen schwankten zwischen 200 und 300 g je Gefäß, die Verdunstungsverluste der unbepflanzten Schalen zwischen 160 und 220 g Wasser. Die durch die Pflanzen transpirierten Wassermengen betrugen je Gefäß 40—120 g.

Auffallend ist die geringe Transpiration des Blindversuchs, die insgesamt nur 17 g H_2O betrug. Sie ist berechnet aus dem Wasserverlust der bepflanzten Gefäße abzüglich des Wasserverlustes der unbepflanzten Schale.

In den gedüngten Reihen traten bei den Wasserverlusten der bepflanzten und unbepflanzten Schalen Unterschiede auf, die in einer Größenordnung von 20% lagen. Diese Differenzen waren leider nicht aufzuklären. Sie können weder mit der Düngung noch mit den geringen Schwankungen der relativen Luftfeuchtigkeit in Beziehung gebracht werden.

Der Versuch wurde nach 18 Tagen abgebrochen. Auf die Feststellung von Trockengewicht und Asche mußte zugunsten einer genaueren Bestimmung von SO_4 und Cl sowie der Kationen verzichtet werden. Die Sprosse und Wurzeln der vier Parallelen wurden zusammen zur nassen Veraschung mit konzentrierter HNO_3 übergossen und bis zur Trockne eingedampft.

In den Abb. 26—29 sind die verschiedenen Werte in folgender Weise dargestellt: Am Kopf der Tabelle sind die in den einzelnen Reihen gegebenen Kationen in mval angegeben. Die in den ungedüngten Gefäßen gefundenen Mengen der einzelnen Ionen sind durch die dick ausgezogenen geraden Linien dargestellt. Die Abschlußlinie der doppelt schraffierten Flächen in den einzelnen Reihen stellt den in der Analyse gefundenen Wert dar, die Abschlußlinie der einfach schraffierten Flächen ist der aus der Transpiration errechnete theoretische Aufnahmewert. Für die K-Diagramme liegt der theoretische Aufnahmewert meist unter den analytisch gefundenen Werten. Durch die nichtschraffierte Fläche ist der gesamte den einzelnen Gefäßen verabfolgte Nährstoff angegeben. Es stellt jeder Block in den Einzeldiagrammen also die insgesamt zugesetzten Nährstoffe, die analytisch gefundenen und die aus der Verdunstung errechneten Nährstoffmengen dar, die durch Schraffierung besonders gekennzeichnet sind. Der Wert der theoretischen Aufnahme wurde mit Hilfe der Differenzen zwischen den täglichen Wasserverlusten der bepflanzten und unbepflanzten Schalen errechnet. Er kennzeichnet also die Menge der Ionen, die aufgenommen sein müßten, wenn durch den Transpirationsstrom ohne Beeinflussung durch andere Momente der Transport der Ionen in die Pflanze besorgt würde.

Die Ergebnisse zeigen, daß die Aufnahme der Ionen nicht entsprechend der Transpiration verläuft. In Abb. 26—29 zeigen die Unterschiede zwischen den einfach und doppelt schraffierten Flächen an, um wieviel die tatsächliche Nährstoffaufnahme hinter der nach der Transpiration berechneten zurückbleibt. Die Minderaufnahme tritt bei allen Ionen, mit Ausnahme des Kaliums, ein. Nur bei der Grundreihe, in welcher mit KH_2PO_4 gedüngt wurde, liegen auch die Kaliwerte etwas niedriger, als mit der Berechnung nach der Transpiration gefunden wurde.

In der Abb. 30 haben wir der besseren Übersicht halber eine andere Darstellung der Ionenaufnahme gewählt. Es ist die tatsächliche Aufnahme in Prozent der theoretisch berechneten Aufnahme dargestellt. Wir sehen hier deutlich, daß die Kaliaufnahme in den Düngungsgruppen SO_4 und Cl über der theoretisch berechneten Menge liegt. Die Steigerung beträgt in der Gruppe SO_4 im Mittel 124,2 und in der Gruppe Cl 116,8%. Sie steigt in Einzelfällen bis etwa 150% der theoretischen

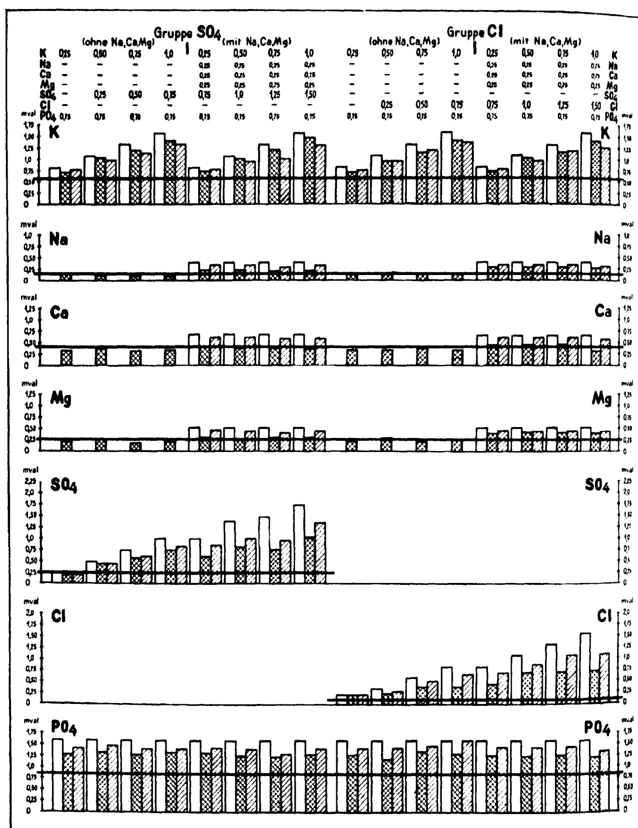


Abb. 26. Nährstoffaufnahme und Düngung. K-Reihe.
Nutrient assimilation and manuring. Potassium series.

Aufnahme. Bei der Reihe KH_2PO_4 dagegen erreicht die Kaliaufnahme nur einen Wert von 75 % der theoretisch berechneten Menge.

Bei der Aufnahme der Ionen SO_4 und Cl liegen die tatsächlichen

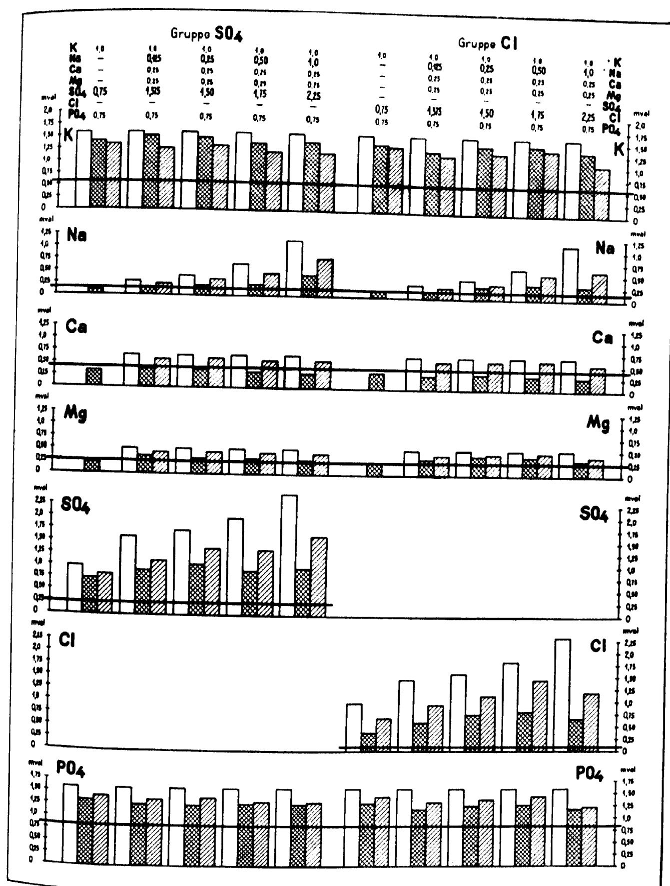


Abb. 27. Nährstoffaufnahme und Düngung. Na-Reihe.
Nutrient assimilation and manuring. Sodium series.

Werte im Durchschnitt um 15—40 % unter dem theoretischen Wert. Na und Mg erreichen durchschnittlich 60—80 % der theoretischen

Abb. 28. Nährstoffaufnahme und Düngung. Ca-Reihe.
Nutrient assimilation and manuring. Calcium series.

Aufnahme. Nur der Kalk zeigt ein ganz anderes Bild. In den meisten Fällen ist die Kalkaufnahme negativ, d. h. die Pflanze hat Kalk ver-

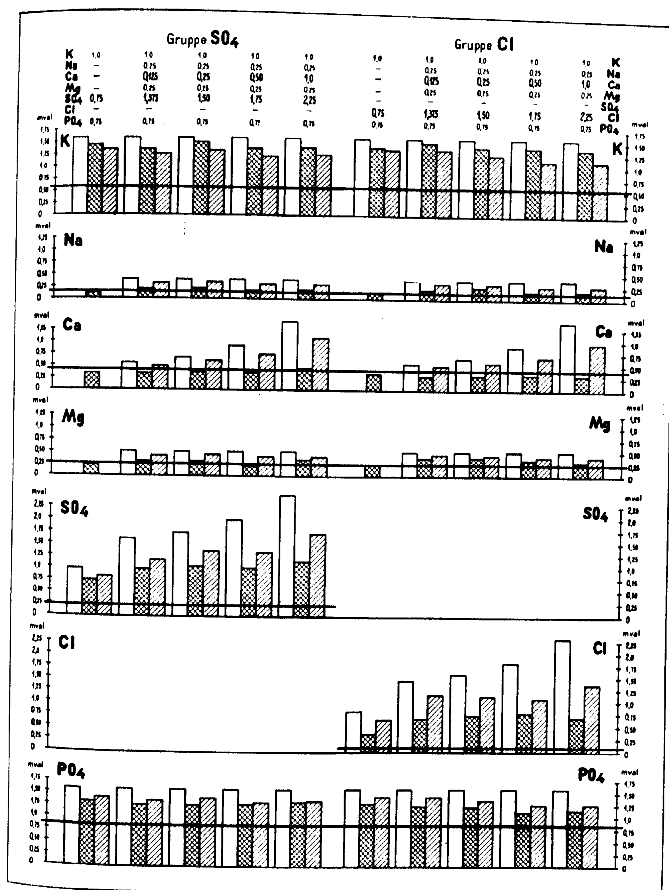


Abb. 29. Nährstoffaufnahme und Düngung. Mg-Reihe.
Nutrient assimilation and manuring. Magnesium series.

loren. Nur bei den Düngungsgruppen KH_2PO_4 plus äquivalenten Gaben Na, Ca, Mg als Sulfat oder Chlorid, den Kalisteigerungsreihen

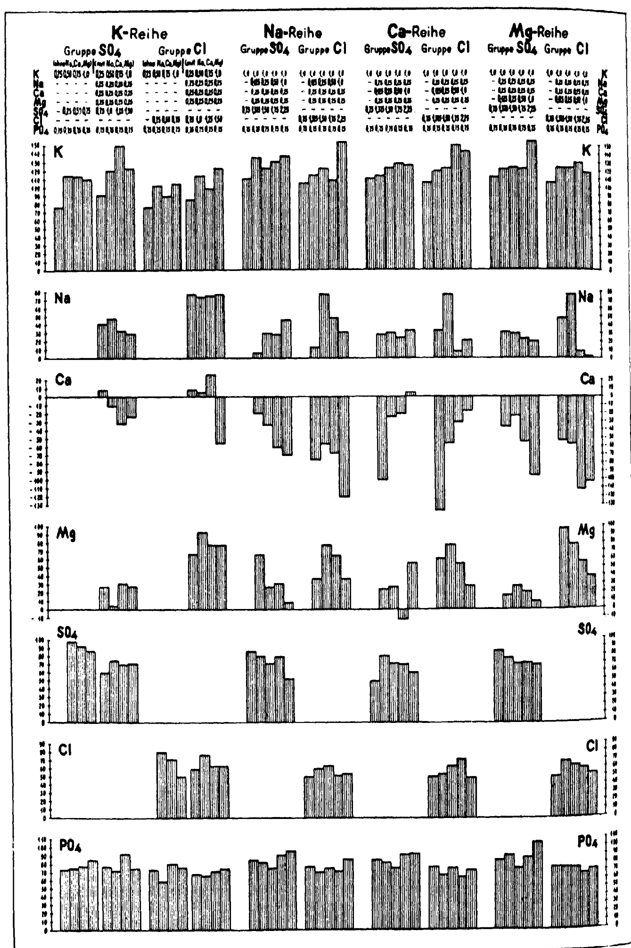


Abb. 30. Tatsächliche Aufnahme in % der berechneten Aufnahme.
Actual absorption in percentage of calculated absorption.

mit KCl bis zur Höhe von 0,75 mval K je Gefäß und der höchsten $CaSO_4$-Gabe ist positive Kalkaufnahme erfolgt. Eine Erklärung für diesen merkwürdigen Befund kann vorläufig noch nicht gegeben werden. Die tatsächliche Aufnahme der einzelnen Ionen geht aus den Abb. 26—29 hervor.

Die Ausnützung der PO_4-Düngung schwankt in Gruppe SO_4 zwischen 57,3 und 66 %, dagegen in Gruppe Cl zwischen 42 und 65 %. Die Aufnahme der SO_4 ist im Vergleich zur Aufnahme des Cl-Ions gleichmäßiger und größer und behält auch ihr Übergewicht bei den höchsten Salzgaben.

Die K-Aufnahme ist in den K-Steigerungsreihen bei der Gruppe SO_4 höher als bei der Gruppe Cl. In den Na-, Ca- und Mg-Steigerungsreihen schwanken die K-Werte abzüglich der Werte der ungedüngten Gefäße in den Gruppen SO_4 zwischen 0,76 und 0,94 mval, in der Gruppe Cl zwischen 0,72 und 0,94 mval. Im Durchschnitt beträgt die K-Ausnützung in der Gruppe SO_4 86,1 % und in der Gruppe Cl 83,0 %. Bei niedrigeren Na-Gaben ist die Aufnahme von Na aus NaCl größer als aus Na_2SO_4. Eine Ausnahme macht die höchste Gabe der Na-Reihen. Hier werden in der Gruppe SO_4 28,2 % der hohen Na-Gabe aufgenommen, gegen 15 % in der Gruppe Cl.

Das Mg wurde aus den $MgCl_2$-Lösungen bis zu 80 %, im Mittel zu 44 %, ausgenützt, während bei der SO_4-Gruppe die Ausnützung im Mittel nur 16,2 % betrug.

Die Unterschiede zwischen den theoretischen Werten und den für die einzelnen Ionen gefundenen Aufnahmezahlen weisen darauf hin, daß die Ionenaufnahme der Keimpflanze neben dem Transport durch den Transpirationsstrom eine weitgehende Beeinflussung durch andere Faktoren haben muß. Wir nehmen an, daß neben der Transpiration die Diffusionsgeschwindigkeit beherrschend für die Aufnahme der Ionen in die Pflanze ist. Wie Abb. 26—29 zeigen, stimmt die wirkliche Aufnahme nicht mit der aus der Transpiration berechneten K-Aufnahme überein, sondern liegt wesentlich höher. Bei den übrigen Kationen dagegen zeigt sich ein anderes Bild. Die Aufnahmen von Na, Ca und Mg liegen immer unterhalb der errechneten Aufnahme. Bemerkenswert ist aber noch die Feststellung, daß die wirkliche K-Aufnahme da bei weitem die nach der Transpiration errechneten K-Werte übersteigt, wo er-

höhte Salzkonzentrationen in den Nährlösungen verabfolgt sind. Zur Erklärung dieser Erscheinung glauben wir die Verschiedenheit der Diffusionskoeffizienten heranziehen zu dürfen.

In Tabelle 2 haben wir die für unseren Versuch in Betracht kommenden Diffusionskoeffizienten zusammengestellt, soweit sie in der Literatur festzustellen waren.

Tabelle 2. Diffusionskoeffizienten (1).

	k			k	
(HCl	2,2)		($^1/_2$ H_2SO_4	1,4)	
KCl	1,35	1	$^1/_2$ K_2SO_4	0,8	1
NaCl	1,07	0,75	$^1/_2$ Na_2SO_4	0,5	0,62
$^1/_2$ $CaCl_2$	0,68	0,5	$^1/_2$ $CaSO_4$	—	-
$^1/_2$ $MgCl_2$	—	—	$^1/_2$ $MgSO_4$	0,3	0,37

Die Diffusionskoeffizienten der Salze K_2SO_4 und KCl verhalten sich wie 0,59 : 1. Demnach müßte die K- und Cl-Aufnahme aus KCl höher liegen als die K- und SO_4-Aufnahme aus Kaliumsulfat. Wie Abb. 26 zeigt, ist dies nicht der Fall, sondern es ist mehr SO_4 als Cl aufgenommen worden. Auch ist die Aufnahme an K aus K_2SO_4 etwas höher als aus KCl. Dieses Resultat kommt nach den erwähnten Konstanten zunächst unerwartet. Eine Erklärung ist nach zwei Gesichtspunkten möglich. Ein Teil der SO_4-Aufnahme kann fortlaufend in der Keimpflanze in organisch-komplexer Bindung festgelegt werden, so daß ständig eine Verarmung der Pflanzensäfte an SO_4 erfolgt, die aus der Außenlösung dann mit dem relativ schnell diffundierenden K_2SO_4 ergänzt wird. Bei der Cl-Gruppe kommt eine organische Bindung des Cl in gleicher Weise wie beim SO_4 nicht in Frage. Bei gleicher Aufnahme beider Salzpaare oder bei höherer Aufnahme des KCl gegenüber K_2SO_4 müßte zwangsläufig bei größerer KCl-Anreicherung ein höherer osmotischer Druck in der Pflanze die Folge sein. Es besteht nun die Möglichkeit, daß an der Wurzelmembran die Pflanze durch Abgabe von CO_2 elektrische Neutralität erstrebt und dadurch die Aufnahme der Cl-Ionen abbremst. Weitere Versuche in dieser Richtung müssen noch zur Klärung dieser wichtigen Feststellung durchgeführt werden, um hier endgültig Klarheit zu schaffen.

Die geringere K-Aufnahme in der Cl-Gruppe scheint dadurch verständlich zu werden, daß hier gleichzeitig mit der K-Aufnahme eine wesentliche Steigerung der anderen Zusatzionen Na und Mg in der Pflanze die Folge gewesen ist. Es kann dies auf Grund der Diffusionskoeffizienten so gedeutet werden, daß infolge der größeren Beweglichkeit der chloridischen Salzpaare die wirkliche Diffusionsgeschwindigkeit des K-Ions gehemmt ist und daß so die geringere Aufnahme erklärt werden kann. Es kann aber auch die Möglichkeit bestehen, daß durch die erhöhte Aufnahme von Na und Mg der osmotische Druck in der Pflanze eine Steigerung erfahren hat und daß dadurch zwangsläufig die Pflanze der erhöhten Salzaufnahme entgegenarbeitet.

Die Diffusionskoeffizienten der Chloride KCl, NaCl, $CaCl_2$ und $MgCl_2$ verhalten sich ungefähr wie 1 : 0,75 : 0,5 : unbekannt. Für die entsprechenden Sulfate errechnet sich folgendes Verhältnis (bezogen auf den Diffusionskoeffizienten K_2SO_4) 1 : 0,62 : unbekannt : 0,37. Es besteht also bei den Chloriden ein engeres Verhältnis der Diffusionskoeffizienten zueinander als bei den Sulfaten.

Daraus kann man annehmen, daß bei der Diffusion NaCl und $MgCl_2$ in kürzerem Abstand hinter KCl diffundieren werden als die entsprechenden Sulfate.

Der Effekt dieser schnelleren Beweglichkeit des NaCl und $MgCl_2$ müßte dann in der Zusammensetzung des Kationengehaltes der Pflanze zum Ausdruck kommen.

In Tabelle 3 ist für jede Reihe die Gesamtaufnahme an Kationen und der prozentuale Anteil der einzelnen Kationen an der Kationensumme zusammengestellt. In Spalte a ist die Düngung in mval je Gefäß, in Spalte b die Summe der aufgenommenen Kationen in der Gruppe SO_4 und Gruppe Cl angegeben. Unter den Spalten c – f sind in Hundertteilen der entsprechenden Kationensummen die Anteile von K, Na, Ca und Mg jeweils für die Gruppen SO_4 und Cl nebeneinander aufgeführt.

Die Kationensumme steigt in der Kalisteigerungsreihe in der SO_4-Gruppe und in der Cl-Gruppe entsprechend des höheren Gehalts der Nährlösung an K, Na, Ca und Mg an. Der Anteil des K ist in der Gruppe SO_4 größer als in der Gruppe Cl. Durch die Düngung mit Na, Ca und Mg wird der Anteil des K an der Kationensumme gegenüber den Reihen ohne Na, Ca und Mg gedrückt. Die Abnahme des K-Anteils geht mit der Zunahme des Na- und Mg-Anteils parallel und ist in der Cl-Gruppe größer als in der SO_4-Gruppe.

In der Na-Steigerungsreihe ist bei 0,25 mval und 0,5 mval Na neben je 0,25 mval Ca und Mg ebenfalls der Anteil des Na in der Cl-Gruppe größer als in der SO_4-Gruppe. Nur in der Reihe mit 1,0 Na ist der Na-Anteil in der SO_4-Gruppe größer. Bei der Besprechung der Analysenergebnisse an Hand der Abb. 26—29 wurde bereits auf diese Mehraufnahmen hingewiesen.

Tabelle 3. Die Gesamtaufnahme von Kationen. Zusammensetzung der Kationensumme.

a Düngung in mval				b Aufgenommen mval Kationen		Kationensumme = 100							
						c K		d Na		e Ca		f Mg	
K	Na	Ca	Mg	Gruppe SO_4	Gruppe Cl	Gruppe SO_4	Gruppe Cl	Gruppe SO_4	Gruppe Cl	Gruppe SO_4	Gruppe Cl	Gruppe SO_4	Gruppe Cl
I. K-Steigerungsreihe													
—	—	—	—	1,36		41,4		9,6		30,2		18,8	
0,25		—	—	1,42		49,8		9,3		24,1		16,8	
0,25	0,25	0,25	0,25	1,69	1,83	44,0	40,0	12,6	15,6	25,1	23,2	18,3	21,3
0,5	—	—	—	1,76	1,71	58,8	55,4	6,5	8,3	21,5	20,0	13,2	16,3
0,5	0,25	0,25	0,25	1,88	2,16	53,8	47,2	11,7	12,9	20,6	19,4	13,9	20,5
0,75	—	—	—	1,80	1,88	66,9	60,9	5,4	6,8	17,6	20,0	10,1	12,3
0,75	0,25	0,25	0,25	2,06	2,32	59,2	50,0	8,6	12,2	17,6	20,0	14,6	18,8
1,0	—	—	—	2,07	2,10	68,2	65,9	4,5	5,9	16,4	16,1	10,9	12,1
1,0	0,25	0,25	0,25	2,34	2,38	63,4	59,4	7,9	11,0	15,6	13,2	13,1	16,4
II. Na-Steigerungsreihe													
1,0	—	—	—	2,07	2,10	68,2	65,9	4,5	5,9	16,4	16,1	10,9	12,1
1,0	0,125	0,25	0,25	2,38	2,02	63,1	63,3	5,7	6,9	15,7	14,4	15,5	15,4
1,0	0,25	0,25	0,25	2,34	2,38	63,4	59,4	7,9	11,0	15,6	13,2	13,1	16,4
1,0	0,5	0,25	0,25	2,22	2,39	62,5	59,1	9,8	13,5	14,0	11,5	13,7	16,0
1,0	1,0	0,25	0,25	2,40	2,15	59,1	60,9	17,2	13,0	12,5	12,2	11,2	13,9
III. Ca-Steigerungsreihe													
1,0	—	—	—	2,07	2,10	68,2	65,9	4,5	5,9	16,4	16,1	10,9	12,1
1,0	0,25	0,125	0,25	2,13	2,35	62,6	64,0	8,3	8,3	15,3	11,7	13,8	16,0
1,0	0,25	0,25	0,25	2,34	2,38	63,4	59,4	7,9	11,0	15,6	13,2	13,1	16,4
1,0	0,25	0,5	0,25	2,11	2,19	64,6	63,9	7,9	6,4	16,2	14,5	11,3	15,2
1,0	0,25	1,0	0,25	2,37	2,13	58,9	64,1	7,8	7,5	18,7	14,6	14,6	13,8
IV. Mg-Steigerungsreihe													
1,0	—	—	—	2,07	2,10	68,2	65,9	4,5	5,9	16,4	16,1	10,9	12,1
1,0	0,25	0,25	0,125	2,22	2,34	64,0	62,6	8,3	9,3	15,5	13,4	12,2	14,7
1,0	0,25	0,25	0,25	2,34	2,38	63,4	59,4	7,9	11,0	15,6	13,2	13,1	16,4
1,0	0,25	0,25	0,5	2,13	2,17	61,9	62,7	7,8	6,6	15,3	10,9	15,0	19,8
1,0	0,25	0,25	1,0	2,15	2,20	65,7	59,9	7,3	6,0	12,9	11,0	14,1	23,1

Der Anteil des Ca an der Kationensumme nimmt infolge der Düngung ab. Die Abnahme erfolgt in der SO_4-Gruppe nicht im gleichen Umfange wie bei der Cl-Gruppe. In der Ca-Steigerungsreihe steigt der Anteil des Ca nur bei der höchsten Ca-Gabe in der Gruppe SO_4; in der Gruppe Cl bleibt der Ca-Anteil nahezu unverändert. Wie oben erwähnt, wird Mg nur aus $MgCl_2$ in beachtenswertem Maße aufgenommen. Diese Beobachtung wird auch durch die Schwankungen des Mg-Anteils bestätigt.

Die in der Zusammensetzung des Kationengehalts der Keimpflanzen aufgetretenen Unterschiede durch sulfatische und chloridische Nährlösungen reichen nicht aus, um beweiskräftige Zahlenwerte für die Geschwindigkeit der Ionenaufnahme zu errechnen. Über die Ionenaufnahme beim Keimpflanzenversuch kann aber ausgesagt werden, daß vor allem das K gegenüber den anderen Kationen infolge seiner höheren Diffusionsgeschwindigkeit als das am schnellsten diffundierende Kation zu bewerten ist. Ob aber für die K-Aufnahme bei der Keimpflanze nur Transpiration und Diffusion die maßgebenden Faktoren sind, ließ sich nicht feststellen. Es muß vermutet werden, daß auch noch andere Faktoren die K-Aufnahme maßgeblich beeinflussen.

Literatur.

1. LANDOLT-BÖRNSTEIN, 5. Aufl.

Zusammenfassung.

Die tatsächliche Aufnahme von Ionen durch die Keimpflanzen stimmt nicht mit der aus der Verdunstung theoretisch errechneten Aufnahme überein. Die Aufnahme des K war vielmehr größer, die von PO_4, SO_4, Cl, Na, Ca und Mg blieb dagegen zum Teil sehr weit unter dem theoretischen Wert.

Für SO_4 wurde eine größere Aufnahme als für Cl festgestellt. Wir nehmen an, daß eine Festlegung des SO_4-Ions in organisch-komplexer Bindung in der Pflanze stattfindet, die beim Cl nicht in gleicher Weise in Frage kommt, und daß einer Mehraufnahme des Cl die osmotischen Kräfte entgegenwirken.

Die Ergebnisse zeigen weiter, daß K, wie schon aus den Diffusionskoeffizienten hervorgeht, als das am schnellsten diffundierende der angewandten Kationen zu bewerten ist. Die in der Gruppe SO_4 festgestellte K-Aufnahme ist etwas größer als die Aufnahme in der Gruppe Cl. Die Tatsache, daß die Verhältnisse der Diffusionskoeffizienten der Sulfate andere sind als die der entsprechenden Chloride, kann für die Erklärung der größeren K-Aufnahme und damit zusammenhängend des geringeren Einflusses der Beidüngung auf die Zusammensetzung des Kationengehaltes der Keimpflanzen in der Gruppe SO_4 dienen.

SUMMARY.

The values obtained for the actual absorption of ions by the seedlings do not agree with the theoretical values calculated from the evaporation data. The values for the actual assimilation of potassium were much greater, while those for the absorption of PO_4, SO_4, Cl, Na, Ca and Mg were much lower than the theoretical values.

SO_4 was absorbed to a greater extent than Cl. We assume that SO_4 combines in the plant to form complex organic bodies, whereas with Cl this does not appear to be the case. Our results also indicate that osmotic forces in the plant tend to prevent the absorption of excessive amounts of Cl.

A comparison of the diffusion coefficients of the different ions shows that the potassium ion diffuses more rapidly than any of the others. The assimilation of potassium was somewhat higher in the SO_4 group than in the Cl group. The fact that the diffusion coefficients of the different ions in the SO_4 group differ from those in the Cl group, may serve to explain the greater absorption of potassium and the consequently slighter effect of the other salts added on the cation content of the rye seedlings in the SO_4 group.

2. Der Einfluß der Niederschlagsmenge auf die Kaliaufnahme.

Das Auftreten von längeren Dürreperioden, wie sie in Deutschland in Abständen von 5 bis 10 Jahren mit einer gewissen Regelmäßigkeit zu verzeichnen sind, hat stärkere Wachstumsstörungen und Verringerung der Ernteerträge zur Folge. Die Verringerung der Ernteerträge hat die Frage auftauchen lassen, ob von den Düngemitteln, die für die betreffende Ernte gegeben wurden, noch unverbrauchte Reste in der Ackerkrume verbleiben, so daß bei der Düngung im kommenden Jahr entsprechende Ersparnisse gemacht werden können. Diese Frage läßt sich nicht theoretisch auf Grund von Überlegungen über die Löslichkeit der Nährstoffe beantworten, denn wenn einerseits in nassen Jahren infolge Aufnahme größerer Wassermengen mehr Nährstoffe in die Pflanze eintreten können, so ist anderseits in trockenen Jahren die Konzentration der Bodenlösung größer, so daß auf diese Weise eine

relativ höhere Nährstoffaufnahme bewirkt werden kann. Nur die Aufstellung von Nährstoffbilanzen für Jahre mit verschiedenen Witterungsverhältnissen kann daher einen Einblick in diese Frage gewähren.

K. OPITZ (1) untersuchte den Einfluß der Witterung auf die Nährstoffaufnahme auf Grund der Versuche, die vom Institut für Acker- und Pflanzenbau der Landwirtschaftlich-Tierärztlichen Fakultät der Universität Berlin auf den Versuchsfeldern Bornim und Emersleben in trockenen und feuchten Jahren durchgeführt wurden. Hinsichtlich des Stickstoffs kam er zu dem eindeutigen Schlusse, daß von einer Einsparungsmöglichkeit an Stickstoffdünger unter Berufung auf etwaige Bodenvorräte nach trockenen Jahren keine Rede sein kann. Auch bei der Phosphorsäure und in noch ausgeprägterem Maße bei Kali ließ sich bei den Versuchen ein Gleichlaufen zwischen Nährstoffentzug und Regenmenge nicht feststellen. Es ergab sich vielmehr, daß andere Faktoren von größerem Einfluß auf die im Boden verbleibenden Nährstoffreserven sind als Nässe oder Trockenheit.

Die Frage, inwieweit die Ausnutzung von der Jahreswitterung ab-

Tabelle 1. Düngungsplan.

	NP	NPK_1	NPK_2	NPK_3
1931	40 kg N 20 „ P_2O_5 —	40 kg N 20 „ P_2O_5 60 „ K_2O (als schws. Kali)	40 kg N 20 „ P_2O_5 60 „ K_2O (als 40er Kalidüngesalz)	40 kg N 20 „ P_2O_5 60 „ K_2O (als Kalimagnesia)
1932	50 kg N 50 „ P_2O_5 —	50 kg N 50 „ P_2O_5 80 „ K_2O (als Kainit)	50 kg N 50 „ P_2O_5 80 „ K_2O (als 40er Kalidüngesalz)	50 kg N 50 „ P_2O_5 80 „ K_2O (als Kalimagnesia)
1933	35 kg N 40 „ P_2O_5 —	35 kg N 40 „ P_2O_5 100 „ K_2O (als 40er Kalidüngesalz vor Bestellung)	35 kg N 40 „ P_2O_5 100 „ K_2O (als 40er Kalidüngesalz im Herbst)	35 kg N 40 „ P_2O_5 100 „ K_2O (als 40er Kalidüngesalz im Frühjahr)
1934	50 kg N 40 „ P_2O_5 —	50 kg N 40 „ P_2O_5 60 „ K_2O (als Kalimagnesia)	50 kg N 40 „ P_2O_5 120 „ K_2O (als Kalimagnesia)	50 kg N 40 „ P_2O_5 180 „ K_2O (als Kalimagnesia)

hängig ist, wurde für Kali auch von uns geprüft. Auf Grund der Analysen der Ernten von Dauerversuchen der letzten Jahre wurden die Mengen an Kali, die der Boden enthielt, mit den Mengen verglichen, welche ihm durch die Ernten entzogen wurden. Aus diesen Untersuchungen geht hervor, daß die Kaliaufnahme nicht den Niederschlagsmengen parallel verläuft.

Zur Prüfung der Beziehungen zwischen Niederschlagsmengen und Kalientzug zogen wir zunächst unsere Dauerversuche zu Roggen heran. Diese Dauerversuche liefen im Rahmen eines 5 jährigen Fruchtfolgeversuches, der in 5 Versuchsstreifen derart unterteilt war, daß in den aufeinanderfolgenden Jahren bestimmte Düngungsfragen an den verschiedenen Früchten der Fruchtfolge geprüft werden konnten. Da die Früchte im Rahmen dieser Fruchtfolge in den verschiedenen Jahren auf verschiedene Streifen dieses Versuchsfeldes zu stehen kamen, erklärt es sich, daß die angegebenen Düngungen für Roggen nicht für jedes Jahr gleich sind. Für den vorliegenden Zweck, die Berechnung der Nährstoffbilanz unter verschiedenen Witterungsverhältnissen, sind aber die Ergebnisse dieser auf dem gleichen Boden durchgeführten Versuche vergleichbar. Die Düngermengen, die in den einzelnen Jahren gegeben wurden, sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Der Verlauf der Witterung in den verschiedenen Jahren geht aus der in Tabelle 2 gegebenen Übersicht hervor:

Tabelle 2. Witterungsverlauf.

Jahr	Dauer des Versuches	Tage mit Schnee	Regen	Mittl. Temperatur	Feuchtigkeit		NS-Quotienten während				Niederschläge		
			mm	°C	relativ %	absolut mm	Veget.-Dauer	IV. Quart.	I. Quart.	II. Quart.	IV. Quart. mm	I. Quart. mm	II. Quart. mm
1931	301	55	559,2	7,5	78,6	6,6	312,6	151,6	96,1	57,7	144,5	84,0	211,0
1932	301	28	237,9	7,1	77,7	6,2	134,1	85,0	52,7	52,6	78,4	54,5	165,7
1933	304	31	307,6	7,0	79,1	6,3	183,1	119,3	89,7	42,0	97,0	84,4	135,6
1934	287	32	257,5	8,2	74,4	6,1	122,7	147,5	60,1	14,6	116,8	65,0	69,9

Die Niederschläge waren besonders hoch in dem Jahre 1931, besonders niedrig in den Jahren 1932 und 1934. Im Jahre 1934 war infolge der ungünstigen Verteilung der Niederschläge auch die Vegetationszeit kürzer.

Die Erträge, die bereits auf den NP-Parzellen sehr hoch lagen, wurden fast stets durch Kalidüngung noch weiter gesteigert (Tabelle 3).

Tabelle 3. Erntegewichte in dz je ha.

	1931		1932		1933		1934	
	Korn	Stroh	Korn	Stroh	Korn	Stroh	Korn	Stroh
NP	39,8	61,1	38,8	60,6	33,3	71,7	37,5	75,5
NPK_1. . .	42,2	72,2	41,1	70,1	35,3	72,3	37,5	76,2
NPK_2. . .	43,1	64,5	39,5	62,0	38,9	80,1	39,9	82,3
NPK_3. . .	39,9	73,3	45,0	72,2	34,5	69,3	39,4	76,1

Der Kaligehalt des Korns war bei den verschiedenen Kaligaben wie auch unter dem Einfluß verschiedener Witterung ziemlich konstant; größeren Veränderungen sowohl durch die Düngung wie auch durch die Witterung war jedoch der Kaligehalt des Strohes unterworfen (Tabelle 4).

Tabelle 4. Kaligehalt von Korn und Stroh. % K_2O.

	1931		1932		1933		1934	
	Korn	Stroh	Korn	Stroh	Korn	Stroh	Korn	Stroh
NP	0,63	1,42	0,59	0,84	0,57	0,80	0,64	0,81
NPK_1 . . .	0,62	1,46	0,59	1,55	0,62	1,19	0,71	1,36
NPK_2 . . .	0,58	1,57	0,60	1,32	0,61	1,12	0,63	1,46
NPK_3 . . .	0,58	1,59	0,57	1,09	0,64	1,24	0,62	1,50

Es soll hier nicht auf den Einfluß der verschiedenen Kaligaben und Kaliformen auf Höhe und Kaligehalt der Ernte näher eingegangen werden; wir beschränken uns vielmehr darauf, die Bilanz zwischen dem in der Düngung verabfolgten Kali und dem Kalientzug der Ernten aufzustellen (Tabelle 5).

Tabelle 5. Aufnahme des Düngerkalis in verschiedenen Jahren.

	1931			1932			1933			1934		
	Kalizufuhr kg/ha	Kalientzug kg/ha	Bilanz kg/ha	Kalizufuhr kg/ha	Kalientzug kg/ha	Bilanz kg/ha	Kalizufuhr kg/ha	Kalientzug kg/ha	Bilanz kg/ha	Kalizufuhr kg/ha	Kalientzug kg/ha	Bilanz kg/ha
NP	—	102	−102	—	55	−55	—	64	−64	—	71	−71
NPK_1	60	113	−53	80	97	−17	100	81	+19	60	106	−46
NPK_2	60	122	−62	80	77	+3	100	83	+17	120	119	+1
NPK_3	60	118	−58	80	68	+12	100	71	+29	180	150	+30

In der feuchten Vegetationszeit des Jahres 1931 mit 559 mm Regen wurden die in verschiedenen Formen gegebenen 60 kg K_2O restlos vom Roggen aufgenommen. In dem trockenen Jahre 1932, mit 237 mm Regen, war das gleiche der Fall, nur blieben bei der Düngung K_3 (80 kg K_2O als Kalimagnesia) rund 12 kg je Hektar unausgenutzt. Im Jahre 1933 wurden bei 307 mm Regen von einer rechtzeitig gegebenen Düngung von 100 kg K_2O je Hektar rund 80 kg aufgenommen, bei verspäteter Gabe verminderte sich die Aufnahme auf etwa 70 kg. In dem trockenen Jahre 1934 mit 257 mm Regen wurden die Düngergaben von 60 und 120 kg K_2O restlos aufgenommen, von der Düngergabe 180 kg K_2O aber nur 150 kg, so daß 30 kg im Boden zurück-

blieben. Es handelt sich aber hier um eine so hohe Gabe, wie sie praktisch kaum in Frage kommt.

Ein Dauerversuch zu Kartoffeln, der in den Tabellen 6—9 wiedergegeben ist, führte zu einem ähnlichen Ergebnis:

Der Witterungsverlauf während dieses Versuches ist in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6. Witterungsverlauf.

Versuchsjahr	Dauer des Versuches Tage	Regen mm	mittlere Temperatur °C	Feuchtigkeit relativ %	Feuchtigkeit absolut mm	NS-Quotient während Veg. Dauer	NS-Quotient während II. Quartal	NS-Quotient während III. Quartal
1931	136	388,4	17,7	72,6	11,1	92,6	57,7	69,8
1932	149	288,4	16,3	72,1	10,1	73,8	52,6	39,1
1933	145	262,8	15,3	71,6	9,4	70,8	42,0	41,5
1934	157	297,0	18,0	65,7	9,8	86,6	14,6	54,6

Über die Höhe und Form der Kaligaben unterrichtet nachstehende Zusammenstellung (Tabelle 7).

Tabelle 7. Düngungsplan.

Versuchsjahr	NP	NPK_1	NPK_2	NPK_3
1931	60 kg N 40 „ P_2O_5 —	60 kg N 40 „ P_2O_5 90 „ K_2O (als Kainit)	60 kg N 40 „ P_2O_5 90 „ K_2O (als 40er Kalidüngesalz)	60 kg N 40 „ P_2O_5 90 „ K_2O (als Kalimagnesia
1932	75 kg N 40 „ P_2O_5 —	75 kg N 40 „ P_2O_5 120 „ K_2O (als 40er Kalidüngesalz im Herbst)	75 kg N 40 „ P_2O_5 120 „ K_2O (als 40er Kalidüngesalz 4 Wochen vor der Bestellung)	75 kg N 40 „ P_2O_5 120 „ K_2O (als 40er Kalidüngesalz als Kopfdünger)
1933	80 kg N 80 „ P_2O_5 —	80 kg N 80 „ P_2O_5 90 „ K_2O (als Kalimagnesia)	80 kg N 80 „ P_2O_5 150 „ K_2O (als Kalimagnesia)	80 kg N 80 „ P_2O_5 200 „ K_2O (als Kalimagnesia)
1934	80 kg N 80 „ P_2O_5 —	80 kg N 80 „ P_2O_5 90 „ K_2O (als 40er Kalidüngesalz)	80 kg N 80 „ P_2O_5 150 „ K_2O (als 40er Kalidüngesalz)	80 kg N 80 „ P_2O_5 200 „ K_2O (als 40er Kalidüngesalz)

Die Erträge an Knollen wurden durch die Kalidüngung in sämtlichen Jahren ganz beträchtlich gesteigert; dementsprechend war auch die Kaliaufnahme auf den Volldüngungsparzellen wesentlich höher als auf den NP-Parzellen (Tabelle 8).

Tabelle 8. Zusammenstellung der Kartoffelversuche 1931—34.

	Erntegewichte dz/ha				K_2O-Aufnahme kg/ha			
	1931	1932	1933	1934	1931	1932	1933	1934
NP . .	214	323	189	195	102	136	76	76
NPK_1 .	359	384	266	237	207	193	138	105
NPK_2 .	304	400	269	302	179	233	140	137
NPK_3 .	338	361	286	311	212	197	167	177

Die Kalibilanz berechnet sich wie folgt (Tabelle 9):

Tabelle 9. Aufnahme des Düngerkalis.

	1931			1932			1933			1934		
	Kalizufuhr kg/ha	Kalientzug kg/ha	Bilanz kg/ha	Kalizufuhr kg/ha	Kalientzug kg/ha	Bilanz kg/ha	Kalizufuhr kg/ha	Kalientzug kg/ha	Bilanz kg/ha	Kalizufuhr kg/ha	Kalientzug kg/ha	Bilanz kg/ha
NP	—	102	−102	—	136	−136	—	76	−76	—	76	−76
NPK_1	90	207	−117	120	193	− 73	90	138	−48	90	105	−15
NPK_2	90	179	− 89	120	233	−113	150	140	+10	150	137	+13
NPK_3	90	212	−122	120	197	− 77	200	167	+33	200	177	+23

Im Jahre 1931 wurde nicht nur das Düngerkali einer Kaligabe von 90 kg je Hektar restlos aufgenommen, sondern auch noch das Bodenkali, zum Teil stärker als auf den kalifreien Parzellen, angegriffen, ebenso erwiesen sich im Jahre 1932 die 120 kg K_2O entsprechenden Kaligaben als nicht ausreichend, um den Kalientzug der Kartoffeln zu decken. Im Jahre 1933 wurden von der Kaligabe von 150 kg K_2O 140 kg aufgenommen, von der Kaligabe von 200 kg K_2O 167 kg. Ungefähr das gleiche Bild ergab sich im Jahre 1934, in welchem von der 150 kg K_2O entsprechenden Kaligabe 137 kg, von der 200 kg K_2O entsprechenden Kaligabe 177 kg K_2O aufgenommen wurden. Hierzu ist zu bemerken, daß 1934 gegen Ende der Vegetationszeit nicht unbeträchtliche Niederschläge einsetzten, welche die Vegetationsdauer über das Normalmaß hinaus verlängerten, so daß gerade in dieser Zeit von Hackfrüchten noch erhebliche Kalimengen aufgenommen werden konnten.

Literatur.

OPITZ, K., Ernährung der Pflanze. Bd. 31, Heft 20.

Zusammenfassung.

Dauerversuche sowohl zu Roggen wie auch zu Kartoffeln haben gezeigt, daß der Einfluß des Witterungsverlaufes auf die Aufnahme des Düngerkalis keine Regelmäßigkeit in dem Sinne aufweist, daß in trockenen Jahren weniger Kali aufgenommen würde als in feuchten Jahren. Von Einfluß waren dagegen Form, Zeit und Höhe der Kaligabe. Soweit Reste von Düngerkali im Boden verblieben sind, war dies nur der Fall bei zu spät verabfolgten Kaligaben oder bei Kaligaben, die weit über dem in der Praxis üblichen Maße lagen und die Aufnahmefähigkeit der Pflanzen überstiegen. Es ist demnach nicht damit zu rechnen, daß nach einem trockenen Jahre noch unausgenutzte Reserven von Düngerkali im Boden anzutreffen sind.

SUMMARY.

Experiments on rye and on potatoes indicate that there is no correlation between weather conditions and the assimilation of potash applied as fertilizer, at least not in the sense that less potash is absorbed in dry seasons than in wet seasons. On the other hand the form and amount of potash applied as well as the time of application were of considerable importance in this respect. Residues of potash remained in the soil only when potash fertilizers were applied too late or when the applications were much greater than those usual in agricultural practice and thus exceeded the absorptive capacity of the crop. It is therefore not probable that reserves of potash applied as fertiliser to the previous crop will be found in the soil after a dry season.

3. Untersuchungen über die Veränderungen der anatomischen Struktur des Halmes und ihre Beeinflussung durch Kalidüngung bei Hafer und Gerste.

In den letzten Jahren wurden in verschiedenen Gegenden an dem vor der Reife stehenden Getreide Halmknickungen beobachtet, die manchmal in so starkem Maße auftraten, daß es den Anschein hatte, als wären diese Verheerungen durch Hagelschlag verursacht (Abb. 31).

Die Halmknickungen traten auch in der Landwirtschaftlichen Versuchsstation Lichterfelde sowohl bei Feld- wie bei Gefäßversuchen auf.

In Lichterfelde wurden schon früher gelegentlich Halmknickungen beobachtet, als deren Ursache Pilzbefall festgestellt werden konnte. Eine Vorstellung von einer derartigen Verpilzung vermittelt Abb. 32, die den Querschnitt eines befallenen Haferhalmes in 60facher Vergrößerung zeigt. In Vorversuchen konnte jedoch festgestellt werden, daß in diesem Jahre eine andere Ursache vorliegen mußte; denn bei der mikroskopischen Betrachtung der Querschnitte geknickter Halme konnte die Anwesenheit von Parasiten bzw. deren halmzerstörende Wirkung nicht beobachtet werden.



Abb. 31. Gerste mit Halmknickungsschäden. Gerstenversuch, der in sehr anschaulicher Weise die Halmknickungen zeigt. Versuchsfeld der Versuchsstation Berlin-Lichterfelde. — Barley experiments showing damages caused by weak straw.

Auch um eine Folgeerscheinung von Frühjahrsfrösten konnte es sich nicht handeln, da nach den Angaben unserer meteorologischen Station während der Vegetationsperiode des vorliegenden Materials keine Fröste zu verzeichnen waren. Die rein äußerlichen Beobachtungen des Versuches zeigten, daß die Halmknickungen am meisten bei Mangelpflanzen auftraten. Offenbar waren diese in ihrem anatomischen Bau zu schwach entwickelt, um den mechanischen Anforderungen genügen zu können. Es ist schon seit langem bekannt, daß die Ernährung den Aufbau der Pflanze erheblich beeinflussen kann. An dieser Stelle sei auf die älteren Arbeiten von KRAUS (1) sowie auf die neueren Arbeiten

von TOBLER (2) und ACKER (3) verwiesen, bei denen sich auch weitere Literaturangaben befinden. Da in den älteren Angaben über die Wirkung der einzelnen Nährstoffe auf den anatomischen Bau und im Zusammenhang damit auf die Festigkeit der Halme die Ansichten sehr verschieden sind, erschien es wünschenswert, im Gefäßversuch festzustellen, wie sich der anatomische Bau des Getreidehalmes durch verschiedene Nährstoffzufuhr beeinflussen läßt, bzw. ob es gelingt, durch harmonische Einstellung der Düngergabe eine günstige Wirkung auf den Aufbau des Halmes zu erzielen.



Abb. 32. Querschnitt durch einen befallenen Haferhalm, 60fache Vergrößerung.
Cross section through damaged oat stalk.

Unserer Versuchsanordnung lag nachfolgender Versuchsplan zugrunde. Als Versuchspflanzen wurden Hafer und Gerste gewählt. Die Anzucht erfolgte zu je 18 Pflanzen in Vegetationsgefäßen, die je 10 kg Quarzsand enthielten.

Grunddüngung je Gefäß:

3 g $CaCO_3$
1 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$
0,2 g $Fe_2(SO_4)_3$
0,1 g $MnSO_4 \cdot 4H_2O$

Differenzdüngung:

K_2O in K_2SO_4
P_2O_5 in $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$
N in NH_4NO_3

Tabelle 1. Versuchsplan.

K_2O mg je Gefäß	N mg je Gefäß	P_2O_5 mg je Gefäß	K_2O mg je Gefäß	N mg je Gefäß	P_2O_5 mg je Gefäß
0	500	250	1000	0	250
100	500	250	1000	100	250
250	500	250	1000	250	250
500	500	250	1000	500	250
1000	500	250	1000	1000	250
1000	500	0	0	1000	1000
1000	500	100	200	1000	1000
1000	500	250	1000	1000	1000
1000	500	500	3000	1000	1000
1000	500	1000			

Die Ernteergebnisse des Haferversuches sind in Tabelle 2a, die des Gerstenversuches in Tabelle 2b aufgeführt.

Wie zu erwarten, ist in der ersten K_2O-Reihe mit steigender K_2O-Gabe der Ertrag an Hafertrockensubstanz größer geworden. Die stärkste K_2O-Gabe von 1000 mg ergibt dabei die größte Menge = 79,8 g. In der Stickstoffreihe ergibt sich mit stärkerer Stickstoffgabe ebenfalls ein Anstieg im Ertrag. Die größte Trockensubstanzmenge = 88,1 g wird bei der höchsten Stickstoffgabe erzielt, während in der Phosphorsäurereihe über 100 mg P_2O_5 keine großen Ertragsunterschiede vorliegen. In der letzten Reihe, in der bei hoher Phosphor- und Stickstoffgabe die K_2O-Gabe gesteigert wurde, liegt bei 1000 mg K_2O der absolut höchste Ertrag des Versuches von 105,4 g Trockensubstanz vor, der durch weiteren K_2O-Zusatz nicht erhöht wurde.

Die Verhältnisse liegen ähnlich beim Gerstenversuch. Auch hier steigt der Ertrag mit steigender K_2O-Gabe an und erreicht mit 49,1 g Trockensubstanz sein Maximum bei 1000 mg

Tabelle 2. Ernteergebnis. Mittel aus je 4 Gefäßen.

a) Hafer

	Trockensubstanz		
	Korn g	Stroh g	Gesamtmasse g
Ungedüngt	0,8	3,0	3,8
N = 500, P_2O_5 = 250 mg			
K_2O = 0	2,1	13,9	16,0
K_2O = 100 mg	12,7	26,1	38,8
K_2O = 250 „	19,0	30,8	49,8
K_2O = 500 „	23,1	37,2	60,3
K_2O = 1000 „	24,9	54,9	79,8
K_2O = 1000, P_2O_5 = 250 mg			
N = 0	0,3	3,4	3,7
N = 100 mg	3,6	18,5	22,1
N = 250 „	11,9	43,9	55,8
N = 500 „	24,9	54,9	79,8
N = 1000 „	34,6	53,5	88,1
K_2O = 1000, N = 500 mg			
P_2O_5 = 0	0,8	5,6	6,4
P_2O_5 = 100 mg	18,9	29,5	48,4
P_2O_5 = 250 „	24,9	54,9	79,8
P_2O_5 = 500 „	25,3	53,6	78,9
P_2O_5 = 1000 „	23,2	52,8	76,0
N = 1000, P_2O_5 = 1000 mg			
K_2O = 0	11,6	21,6	33,2
K_2O = 200 mg	12,7	37,8	50,5
K_2O = 1000 „	39,8	65,6	105,4
K_2O = 3000 „	38,5	65,8	104,3

Tabelle 2 (Fortsetzung).

b) Gerste

	Trockensubstanz Korn g	Stroh g	Gesamtmasse g
Ungedüngt	1,5	3,1	4,6
N = 500, P_2O_5 = 250 mg			
K_2O = 0	6,5	16,1	22,6
K_2O = 100 mg	11,8	23,1	34,9
K_2O = 250 „	16,2	27,1	43,3
K_2O = 500 „	17,7	28,9	46,6
K_2O = 1000 „	19,3	29,8	49,1
K_2O = 1000, P_2O_5 = 250 mg			
N = 0	1,3	4,3	5,6
N = 100 mg	3,5	6,9	10,4
N = 250 „	9,6	16,8	26,4
N = 500 „	19,3	29,8	49,1
N = 1000 „	32,6	45,4	78,2
K_2O = 1000, N = 500 mg			
P_2O_5 = 0	0,7	9,3	10,0
P_2O_5 = 100 mg	15,3	34,2	49,5
P_2O_5 = 250 „	19,3	29,8	49,1
P_2O_5 = 500 „	21,7	30,8	52,5
P_2O_5 = 1000 „	20,3	30,5	50,8
N = 1000, P_2O_5 = 1000 mg			
K_2O = 0	0,2	4,7	4,9
K_2O = 200 mg	9,7	26,8	36,5
K_2O = 1000 „	28,9	38,8	67,7
K_2O = 3000 „	34,5	56,4	90,9

K_2O. Dieser Ertrag wird aber in der Stickstoffreihe bei höherer N-Gabe noch übertroffen, denn bei 1000 mg N wird eine Trockensubstanzmenge von 78,2 g festgestellt. In der Phosphorsäurereihe liegen auch bei Gerste über 100 mg je Gefäß keine Unterschiede vor. Dagegen wirkt bei gleichzeitig gesteigerter P_2O_5- und N-Gabe das Kalium weiter ertragsteigernd, so daß bei 3000 mg K_2O je Gefäß ein Ertrag von 90,9 g Trockensubstanz vorliegt.

Um einen Überblick über den Habitus der auf den einzelnen Gefäßen gezogenen Pflanzen zu geben, wurden Bilder von je 3 Halmen angefertigt, die in Abb. 33—40 zusammengestellt sind. Sie zeigen den Habitus der Pflanzen und geben eine Vorstellung von den Halmknickungen. In der Hauptsache fanden sich diese bei Kaligaben bis zu 100 mg, wenn eine niedrigere Stickstoff- und Phosphorsäuredüngung verabfolgt wurde. Bei höheren Stickstoff- und Phosphorsäuregaben traten auch noch Halmknickungen bei Kaligaben bis zu 200 mg in Erscheinung. Bei Gerste und Hafer lagen die Verhältnisse analog.

Nach Aberntung und Gewichtsfeststellung wurden aus den Versuchen Halme entnommen, von diesen Querschnitte angefertigt und die Schnitte durch das Mikroskop photographiert. Ein Teil dieser Aufnahmen wird im folgenden wiedergegeben und beschrieben.

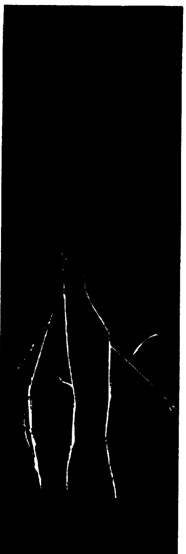
Zur Untersuchung wurden der Gleichmäßigkeit halber nur Halme mit 6 Internodien verwandt. Jeweils ein 5 cm langes Stück aus der Mitte des 5. Internodiums wurde zum Schnitt vorbereitet. Es wurde zunächst 20 Minuten in Wasser gekocht und darauf mindestens 3 Tage in 70proz. Alkohol gehalten. Durch diese Behandlung wurden einerseits Epidermis und Sklerenchymfaserschicht genügend geschmeidig, während das Parenchymgewebe durch die nachträgliche Behandlung mit Alkohol die zum Schneiden nötige Härte erhielt.

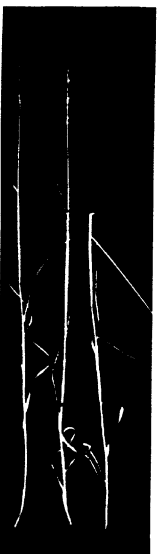
Die Halmstücke wurden nach dieser Vorbereitung halbiert, seitlich aufgeschnitten und in ein ausgebohrtes, seitlich aufgeschnittenes Holundermarkstück eingesetzt. Um beim Schneiden dem Stück festen Halt zu geben, wurde die Bohrung des Holundermarks mit einem Kork ausgefüllt, so daß sich das Halmstück zwischen dem Holundermarkmantel und dem Korkkern befand. Darauf wurde das Halmstück in ein Handmikrotom eingespannt und in einer Stärke von 40 μ geschnitten. Die Schnitte wurden zur Entfernung der Luft in Wasser aufgekocht, in Glyzeringelatine eingebettet und anschließend bei 60facher und bei 180facher Vergrößerung photographiert.

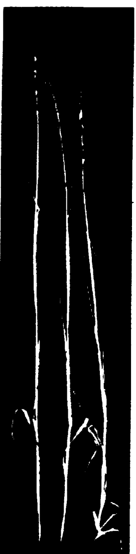
Die Bilder zeigen einen Teil des Halmquerschnittes, an dem die strukturellen Veränderungen zu erkennen sind. Um die Unterschiede sicher zu erfassen, wurden Halmstärke, Halmwanddicke, Sklerenchymschichtdicke und die Stärke der Sklerenchymzellenwand gemessen.

Die ersten 4 Querschnittsbilder (Abb. 41—44) sind einer Haferreihe entnommen und zeigen die Veränderung der anatomischen Struktur des Halmes bzw. des 5. Internodiums bei gesteigerter K_2O-Gabe. Die N- und P_2O_5-Gaben wurden zunächst auf gleicher Höhe gehalten. Der völlige K_2O-Mangel macht sich schon in dem äußerst kümmerlichen Wuchs der ganzen Halme bemerkbar. Überdies ist aber auch die Ausbildung der Festigungsgewebe: Epidermis, Sklerenchymfaserschicht und Gefäßbündelscheide, sehr schwach. Die Epidermiszellen und die Sklerenchymfaserzellen weisen ein ziemlich großes Lumen auf und besitzen eine verhältnismäßig schwache Wandung. Auch die Zellen der Gefäßbündelscheide der Markgefäße sind sehr schwachwandig und fallen als Stützorgane vermutlich fast ganz aus. Noch ungünstiger liegen die Verhältnisse bei den Gefäßen, die im Sklerenchymring angeordnet sind. Die an sie angrenzenden Sklerenchymzellenwände weisen keine besondere Verstärkung auf, vielmehr ist zu beiden Seiten der Gefäße noch Parenchymgewebe angeordnet, wodurch eine Schwächung der Halmwandung entsteht.

Das Bild ändert sich schon ganz erheblich bei der schwächsten Kaligabe von 100 mg K_2O je Gefäß. Hier nimmt der Halmdurchmesser etwas zu, die Verbreiterung der Sklerenchymschicht ist allerdings gering. Die Lumina der Sklerenchymzellen werden jedoch viel kleiner, so daß die Zellwandung eine erhebliche Verstärkung erfährt. Desgleichen sind auch die Zellwände der Gefäßbündelscheide der Markgefäße kräftiger ausgebildet. Die Parenchymzellen zu beiden Seiten der peripheren Bündel fallen nahezu fort, und die umgebenden Sklerenchymzellen sind besonders englumig und kräftig ausgebildet. Das Grundparenchym, das nach der Ansicht von RASDORSKY (4) gemäß dem Prinzip des Verbundbaues die Festigkeit eines Halmes mitbestimmt, weist ebenfalls kräftigere Zellwände auf. Bei der nächsthöheren Gabe von 500 mg K_2O je Gefäß werden diese Veränderungen noch deutlicher. Wieder nimmt der Halmdurchmesser zu und zugleich wird die Halmwand erheblich breiter. Der Halm ist also äußerlich viel kräftiger als die Halme der schwächeren Düngung. Dazu kommt dann noch eine bedeutende Verbreiterung der Sklerenchymschicht sowie eine besonders


$K_2O = 0$

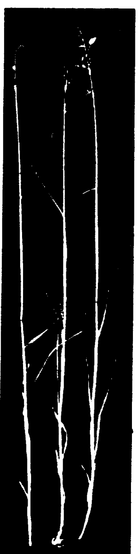

$K_2O = 100$

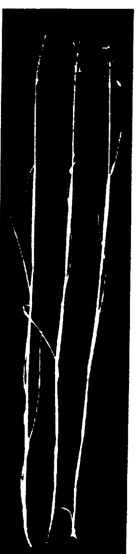

$K_2O = 500$


$K_2O = 1000$

Grunddüngung: $P_2O_5 = 250$; $N = 500$.

Abb. 33. Haferhalme, z.T. geknickt, bei steigender K-Düngung und normaler NP-Düngung. / Oat stalks with normal NP and increasing K applications.


$K_2O = 200$


$K_2O = 1000$


$K_2O = 3000$

Grunddüngung: $P_2O_5 = 1000$; $N = 1000$.

Abb. 34. Haferhalme bei steigender K-Düngung und erhöhter NP-Düngung. / Oat stalks with increased NP and increasing K applications.

Die für die Düngung angegebenen Zahlen bedeuten mg pro Gefäß.



N = 250



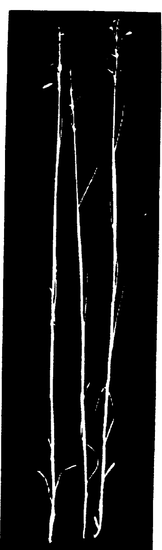
N = 500



N = 1000

Grunddüngung: K_2O = 1000; P_2O_5 = 250.

Abb. 35. Haferhalme bei steigender N-Düngung und normaler PK-Düngung. / Oat stalks with normal PK and increasing N applications.



P_2O_5 = 250



P_2O_5 = 500



P_2O_5 = 1000

Grunddüngung: K_2O = 1000; N = 500.

Abb. 36. Haferhalme bei steigender P-Düngung und normaler NK-Düngung. / Oat stalks with normal NK and increasing P applications.

Die für die Düngung angegebenen Zahlen bedeuten mg pro Gefäß.



$K_2O = 0$



$K_2O = 100$



$K_2O = 500$



$K_2O = 1000$

Grunddüngung: $P_2O_5 = 250$; $N = 500$.

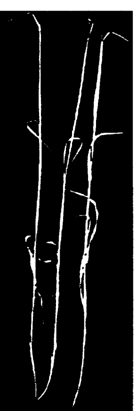
Abb. 37. Gerstenhalme, z. T. geknickt, bei steigender K-Düngung und normaler NP-Düngung. — Barley stalks with normal NP and increasing K applications.



$N = 250$



$N = 500$

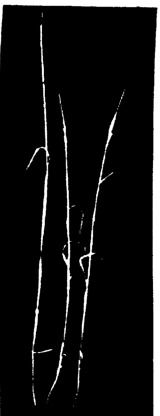


$N = 1000$

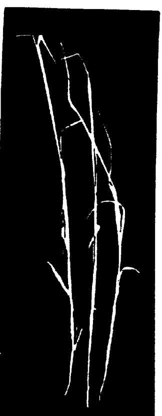
Grunddüngung: $P_2O_5 = 250$; $K_2O = 1000$.

Abb. 38. Gerstenhalme, bei steigender N-Düngung und normaler PK-Düngung. — Barley stalks with normal PK and increasing N applications.

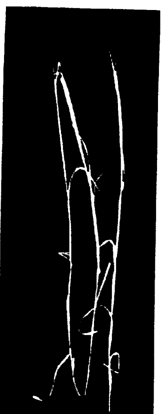
Die für die Düngung angegebenen Zahlen bedeuten mg pro Gefäß.



$P_2O = 250$



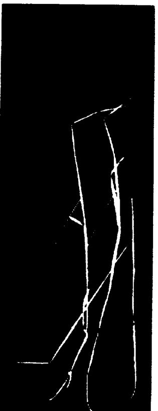
$P_2O = 500$



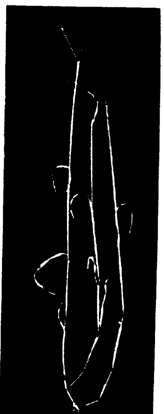
$P_2O = 1000$

Grunddüngung: $N = 500$; $K_2O = 1000$.

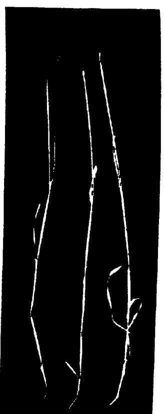
Abb. 39. Gerstenhalme bei steigender P-Düngung und normaler NK-Düngung. — Barley stalks with normal NK and increasing P applications.



$K_2O = 200$



$K_2O = 1000$



$K_2O = 3000$

Grunddüngung: $N = 1000$; $P_2O_5 = 500$.

Abb. 40. Gerstenhalme bei steigender K-Düngung und erhöhter NP-Düngung. — Barley stalks with increased NP and increasing K applications.

Die für die Düngung angegebenen Zahlen bedeuten mg pro Gefäß.

Abb. 41—44. Querschnitte durch Haferhalme bei steigender K-Düngung und normaler NP-Düngung. (Die angegebenen Zahlen bedeuten mg pro Gefäß.)

Cross sections through Oat stalks with normal NP and increasing K applications.

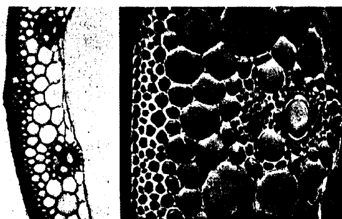


Abbildung 41.
$K_2O = 0$.
Grunddüngung: $P_2O_5 = 250$; $N = 500$.

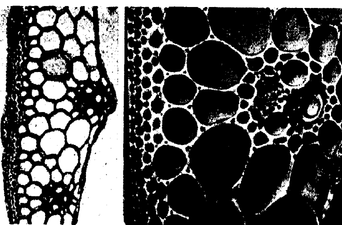


Abbildung 42.
$K_2O = 100$.
Grunddüngung: $P_2O_5 = 250$; $N = 500$.

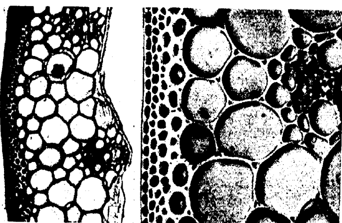


Abbildung 43.
$K_2O = 500$.
Grunddüngung: $P_2O_5 = 250$; $N = 500$.

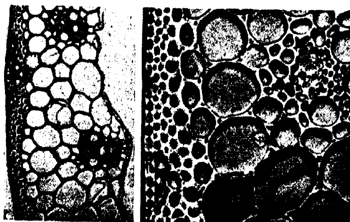


Abbildung 44.
$K_2O = 1000$.
Grunddüngung: $P_2O_5 = 250$; $N = 500$.

kräftige Ausbildung der Sklerenchymzellwände. Auch die Gefäßbündelscheiden sind sehr kräftig ausgebildet.

Bei der höheren Düngung von 1000 mg K_2O je Gefäß liegt nochmals eine Verstärkung der Festigungselemente gegenüber der vorigen Düngungsstufe vor. Halmdurchmesser und Halmwand sind etwas breiter. Die Sklerenchymzellenwände sind zwar nicht stärker, aber die Zellschicht ist ebenfalls etwas breiter. Besonders kräftig sind die Zellen in der Gefäßbündelscheide der Markgefäße ausgebildet.

Die Pflanze hat also bei gleichbleibender N- und P_2O_5-Gabe durch steigende K_2O-Gaben nicht nur eine rein äußerlich sichtbare Förderung erfahren, sondern darüber hinaus wurde durch die steigende K_2O-Gabe eine starke Kräftigung im anatomischen Aufbau erzielt.

Dieses Ergebnis stimmt mit der Beobachtung von THIELE (5), WECK (6) und STUCH (7) an Getreidehalmen überein, die ebenfalls eine Förderung des Sklerenchymgewebes durch Kalidüngung feststellen konnten. Auch ACKER (3) fand, daß der Anteil an „charakteristischem Festigungsgewebe" zunahm, daß „die Epidermis, der Sklerenchymring mit den eingelagerten Halmbündeln dichter und geschlossener wurde". Ferner konnten KRÜGER, WIMMER und BREDEMANN (8) bei der Nessel beobachten, daß der Fasergehalt mit steigenden K_2O-Gaben erhöht wurde. Sie stellten fest, daß „die Kalimenge sich auf den Fasergehalt dann am günstigsten gestaltete, wenn das Verhältnis von K_2O:N im Boden sich wie 2,5:1 verhielt".

Um das Bild zu vervollständigen, ist noch eine Reihe mit wechselnder Stickstoff- und Phosphordüngung untersucht worden. In Abb. 45—47

Abb. 45—47. Querschnitte durch Haferhalme bei steigender N-Düngung und normaler KP-Düngung. (Die angegebenen Zahlen bedeuten mg pro Gefäß.)

Cross sections through Oat stalks with normal KP and increasing N applications.

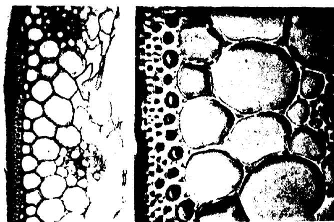


Abbildung 45. N = 250.
Grunddüngung: K_2O = 1000; P_2O_5 = 250.

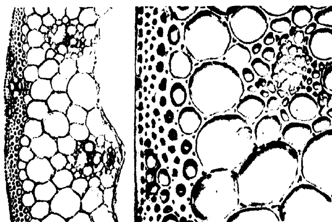


Abbildung 46. N = 500.
Grunddüngung: K_2O = 1000; P_2O_5 = 250.

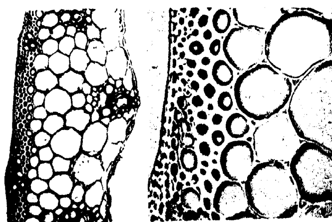


Abbildung 47. N = 1000.
Grunddüngung: K_2O = 1000; P_2O_5 = 250.

Abb. 48—50. Querschnitte durch Haferhalme bei steigender P-Düngung und normaler NK-Düngung. (Die angegebenen Zahlen bedeuten mg pro Gefäß.)
Cross sections through Oat stalks with normal NK and increasing P applications.

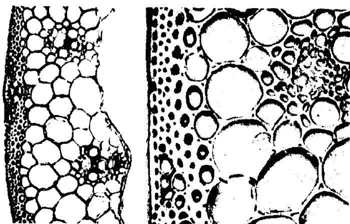


Abbildung 48. P_2O_5 = 250.
Grunddüngung: K_2O = 1000; N = 500.

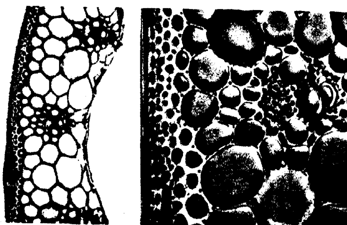


Abbildung 49. P_2O_5 = 500
Grunddüngung: K_2O = 1000; N = 500.

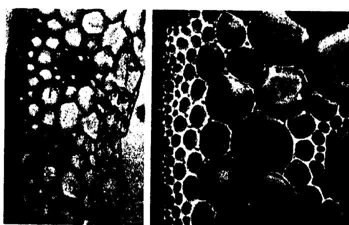


Abbildung 50. P_2O_5 = 1000.
Grunddüngung: K_2O = 1000; N = 500.

sind Halmquerschnitte aus einer steigenden Stickstoffreihe bei gleichbleibenden K_2O- und P_2O_5-Gaben wiedergegeben.

Die Abbildungen zeigen den mit 250 mg, den mit 500 mg und den mit 1000 mg Stickstoff je Gefäß gedüngten Hafer. Auf die Wiedergabe des stickstofffrei herangezogenen Materials wurde verzichtet, da sich der erhaltene Befund mit dem des K_2O-freien Versuches deckt. Gerade so wie dort ist auch hier bei stark verkümmerter Ausbildung des ganzen Halmes das Gewebe nur schwach entwickelt. Die Sklerenchymschicht mit ihren kaum verstärkten Zellwänden tritt fast gar nicht hervor, auch die Epidermis weist bei großen Lumina schwache Zellwände auf. Bei einer Gabe von 250 mg Stickstoff je Gefäß liegt wie bei dem K_2O-Versuch eine erhebliche Verbreiterung der Sklerenchymschicht vor, bei gleichzeitiger Verdickung der Zellwände. Wie zu erwarten, sind natürlich auch die Halme in ihrem Wuchs kräftiger ausgebildet. Bei Erhöhung der Stickstoffgabe auf 500 mg je Gefäß treten keine wesentlichen Verschiebungen im anatomischen Aufbau auf. Eine weitere Erhöhung der Stickstoffgabe auf 1000 mg je Gefäß hat keine Verstärkung des mechanischen Gewebes zur Folge. Zwar hat es den Anschein, als wäre die Sklerenchymschicht noch um ein geringes breiter geworden, aber gleichzeitig ist die Zellwanddicke geringer und das Lumen der Sklerenchymzellen größer geworden. Offenbar ist mit der Gabe von 500 mg Stiffstoff je Gefäß die beste Wirkung erreicht.

Noch etwas deutlicher treten diese Verhältnisse in der Phosphorreihe (Abb. 48—50) hervor. Die Gabe von 250 mg je Gefäß, die in den anderen beiden Reihen als Grunddüngung angewandt wurde, stellt offenbar eine

Optimumgabe dar, denn eine größere Menge, z. B. 500 oder gar 1000 mg P_2O_5, setzt die Breite der Sklerenchymschicht herab, wenn auch die Wände der Sklerenchymzellen, wie die der übrigen Zellen, ihre Wandstärke nicht verringern. Damit ist nicht gesagt, daß die mechanische Festigkeit des Halmes abnehmen muß, denn der Halmdurchmesser wird gleichzeitig größer, wodurch der Festigkeitsverlust möglicherweise wieder ausgeglichen wird.

Schließlich wurde noch eine andere Versuchsreihe mit steigenden K_2O-Gaben durchgeführt (Abb. 51—53), bei der aber die Stickstoff- wie auch die Phosphorgabe erhöht war. Die Folge dieser Erhöhung ist bei der K_2O-Gabe von 1000 mg je Gefäß eine Verringerung des Halm- bzw. Internodiendurchmessers von 3,9 auf 2,5 mm. Gleichzeitig nimmt die Halmwanddicke ab. Sodann hat die Sklerenchymschicht eine bedeutende Schwächung erfahren. Sie ist schmaler geworden und stärker aufgelockert, denn die Zellumina sind größer, die Zellwände aber schwächer ausgebildet. Auch die Zellwände der Parenchymzellen sowie der Gefäßbündelscheide sind nicht so kräftig wie bei der gleichen K_2O-Gabe neben niedrigeren N- und P-Gaben. Alle diese Erscheinungen treten bei derselben hohen N- und P_2O_5-Gabe in noch erhöhtem Maße für die K_2O-Gabe von 200 mg auf.

In den beiden letzten Fällen kann man wohl ohne weiteres aus der Veränderung des anatomischen Baues auf eine Verminderung der mechanischen Festigkeit des Halmes schließen. Nicht richtig wäre es aber, diese Schlußfolgerung dahin zu verallgemeinern, daß diese Verminderung ausschließlich als eine direkte Folge der erhöhten Stickstoff- und Phosphorgabe anzusehen ist. Das ergibt sich aus Abb. 53.

Abb. 51—53. Querschnitte durch Haferhalme bei gesteigerter NP-Düngung und steigender K-Düngung. (Die angegebenen Zahlen bedeuten mg pro Gefäß.)
Cross sections through Oat stalks with increased NP and increasing K applications.

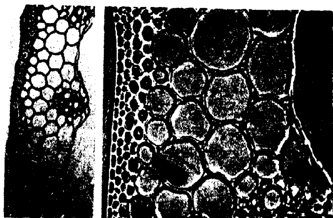


Abbildung 51. K_2O = 200.
Grunddüngung: P_2O_5 = 1000; N = 1000.

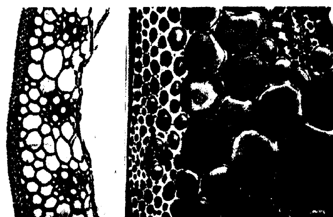


Abbildung 52. K_2O = 1000.
Grunddüngung: P_2O_5 = 1000; N = 1000.

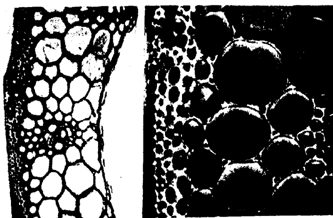


Abbildung 53. K_2O = 3000.
Grunddüngung: P_2O_5 = 1000; N = 1000.

Abb. 54—57. Querschnitte durch Gerstenhalme bei steigender K-Düngung und normaler NP-Düngung. (Die angegebenen Zahlen bedeuten mg pro Gefäß.)

Cross sections through Barley stalks with normal NP and increasing K applications.

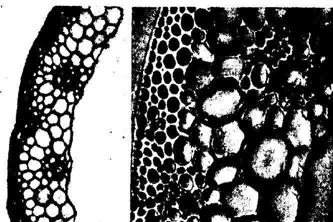


Abbildung 54.
$K_2O = 0$.
Grunddüngung: $P_2O_5 = 250$; $N = 500$.



Abbildung 55.
$K_2O = 100$.
Grunddüngung: $P_2O_5 = 250$; $N = 500$.

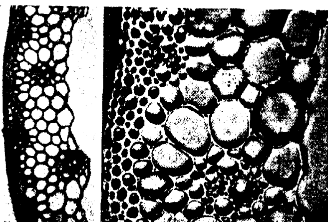


Abbildung 56.
$K_2O = 500$.
Grunddüngung: $P_2O_5 = 250$; $N = 500$.

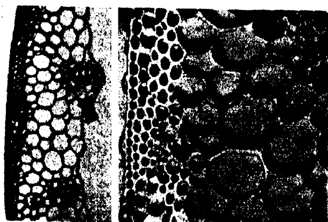


Abbildung 57.
$K_2O = 1000$.
Grunddüngung: $P_2O_5 = 250$; $N = 500$.

Diese zeigt Halmquerschnitte einer Versuchsreihe, bei der nicht nur die Phosphor- und Stickstoffgabe auf 1000 mg erhöht war, sondern bei der auch die K_2O-Gabe entsprechend höher, nämlich bei 3000 mg gehalten war. In diesem Fall erreicht der Halmdurchmesser wieder die Stärke wie in Abb. 44 bei 1000 K_2O, nämlich = 3,8 mm. Desgleichen ist der innere Aufbau genau so kräftig wie dort. Die Sklerenchymschicht hat ebenfalls dieselbe Breite und die Sklerenchymzellwände dieselbe Stärke. Auch die Zellen der Gefäßbündelscheide sowie die Parenchymzellen haben ihre Wände wieder kräftiger ausgebildet.

Es zeigt sich also, daß eine Erhöhung der N- und P_2O_5-Gabe wohl eine Schwächung im anatomischen Bau zur Folge haben kann, wenn einseitige Nährstoffzufuhr vorliegt, daß die Folgen dieser einseitigen Düngungsmaßnahmen aber wieder eliminiert werden können, wenn der mangelnde Nährstoff, in diesem Fall das Kali, in erhöhten Gaben zur Verabfolgung gelangt.

Genau so wie der oben beschriebene Haferversuch wurde auch ein Versuch mit Gerste durchgeführt. Das Bild ist hierbei insofern etwas anders, als die Struktur des Gerstenhalmes von der des Hafers abweicht; der anatomische Aufbau ist bei der Gerste im allgemeinen schwächer. Die Sklerenchymschicht ist durchweg weitlumiger, die Zellwände sind dünner. Dabei ist jedoch die Breite der Sklerenchymschicht von der des Hafers nicht sehr verschieden. Diese Verhältnisse kommen schon im äußeren

Abb. 58—60. Querschnitte durch Gerstenhalme bei steigender N-Düngung und normaler PK-Düngung. (Die angegebenen Zahlen bedeuten mg pro Gefäß.)

Cross sections through Barley stalks with normal KP and increasing N applications.

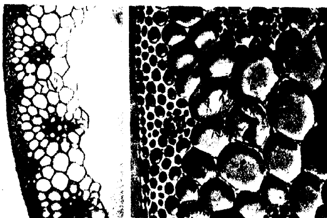


Abbildung 58. N = 250.
Grunddüngung: K_2O = 1000; P_2O_5 = 250.

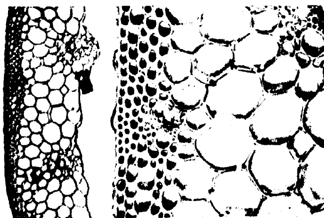


Abbildung 59. N = 500.
Grunddüngung: K_2O = 1000; P_2O_5 = 250.

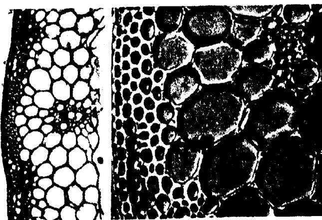


Abbildung 60. N = 1000.
Grunddüngung: K_2O = 1000; P_2O_5 = 250.

Abb. 61—63. Querschnitte durch Gerstenhalme bei steigender P-Düngung und normaler NK-Düngung. (Die angegebenen Zahlen bedeuten mg pro Gefäß.)
Cross sections through Barley stalks with normal NK and increasing P applications.

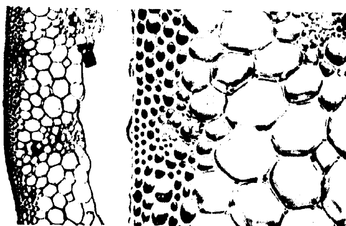


Abbildung 61. P_2O_5 = 250.
Grunddüngung: K_2O = 1000; N = 500.

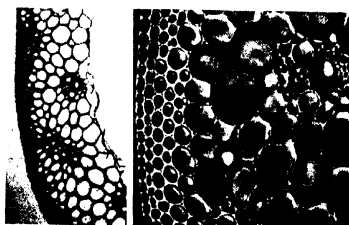


Abbildung 62. P_2O_5 = 500.
Grunddüngung: K_2O = 1000; N = 500.

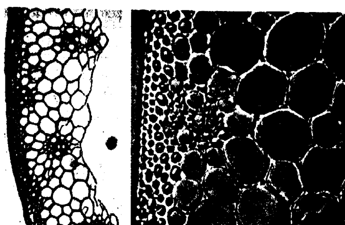


Abbildung 63. P_2O_5 = 1000.
Grunddüngung: K_2O = 1000; N = 500.

Aufbau zum Ausdruck, denn die Gerstenhalme sind durchweg kleiner als die des Hafers. Ganz allgemein wurde beobachtet, daß die Zellwände im Gerstenhalm neben ihrer schwächeren räumlichen Ausbildung außerdem aus weicherem Material aufgebaut sind. Ferner fallen die schwach gedüngten Pflanzen in dieser Beziehung gegen die besser ernährten stark ab. Eine eingehendere Untersuchung dieses Befundes muß einer späteren Arbeit vorbehalten bleiben.

Im übrigen kann die Besprechung des Gerstenversuches kürzer gehalten werden, da er sich eng an den Haferversuch anschließt. Durchgehend sind die Gerstenhalme dünner als die Haferhalme, auch die Zunahme des Halmdurchmessers mit steigender Düngung ist etwas geringer. Die Steigerung der Kaligabe bei gleichbleibender Stickstoff- und Phosphorgabe führt wie beim Hafer zur Verstärkung des äußeren Aufbaues (Abb. 54—57).

Bei K_2O-freier Düngung fällt besonders das große Lumen der Epidermis- und Sklerenchymzellen auf. Die Wände der Zellen sind nur schwach entwickelt und zeichnen sich durch ausgesprochene Weichheit aus. Die Zellwände der Gefäßbündelscheiden sind nur schwach verdickt. Die Sklerenchymschicht ist stark aufgelockert und überdies nur sehr schmal. Eine schwache Kaligabe von 100 mg bewirkt bereits eine deutliche Verstärkung des Halmes. Der Halmdurchmesser wird größer, wie auch die Entwicklung des ganzen Halmes kräftiger ist. Die Sklerenchymschicht ist nur wenig breiter geworden, hat aber kleinere Zellumina und stärkere Zellwände. Die Zellwände der Parenchymzellen und besonders der Gefäßbündelscheide sind viel kräftiger geworden. Nur die Epidermiszellen haben auch hier noch ziemlich große

Lumina. Das ändert sich mit der Gabe von 500 mg K_2O je Gefäß. Hier sind auch die Epidermiszellen verhältnismäßig englumig, während ihre Zellwände sowie die des Sklerenchyms erheblich stärker sind. Dazu ist der Halmdurchmesser größer geworden, so daß sich im allgemeinen ein kräftigerer Bau ergibt. Bei der höchsten Kaligabe = 1000 mg je Gefäß sind die Verhältnisse unverändert geblieben, eine weitere Verstärkung läßt sich nicht feststellen.

In der Stickstoffreihe (Abb. 58—60) ergibt sich wieder das gleiche Bild wie beim Haferversuch. N-frei herangezogene Pflanzen zeigen dieselbe schwache Struktur wie die Kalimangelpflanzen. Eine N-Gabe von 250 mg N je Gefäß bewirkte eine Kräftigung sämtlicher Elemente, die noch deutlicher bei der Gabe von 500 mg N hervortritt. Die Verbreiterung der Sklerenchymschicht, Verdickung der Zellwände, Verringerung des Lumens sind wieder die Hauptmerkmale. Die weitere Erhöhung der Stickstoffgabe auf 1000 mg hat noch einmal eine geringe Vergrößerung des Halmdurchmessers zur Folge, während eine Verstärkung des Gewebes nicht eintritt.

Die Phosphorreihe (Abb. 61—63) bietet keine Besonderheiten gegen den Haferversuch. Der Halmdurchmesser ist bei 250 mg, 500 mg und 1000 mg P_2O_5 je Gefäß stets der gleiche. Wie beim Hafer wird mit steigender P_2O_5-Gabe die Sklerenchymschicht schmaler, gleichzeitig aber auch dichter. Die Lumina sind kleiner, die Zellwände dicker, so daß eine Einbuße für die Festigung nicht anzunehmen ist.

Von größtem Interesse sind dann noch die letzten Abb. 64—66, die eine bei erhöhter N- und P_2O_5-Düngung mit steigender K_2O-Gabe durchgeführte Versuchsreihe wiedergeben. Der erste Versuch bei 200 mg K_2O je

20*

Abb. 64—66. Querschnitte durch Gerstenhalme bei erhöhter NP-Düngung und steigender K-Düngung. (Die für die Düngung angegebenen Zahlen bedeuten mg pro Gefäß.)
Cross sections through Barley stalks with increased NP and increasing K applications.

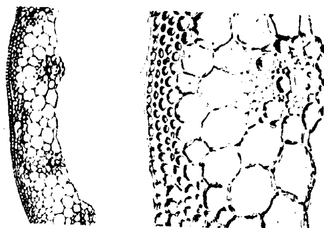


Abbildung 64. K_2O = 200.
Grunddüngung: P_2O_5 = 1000; N = 1000.

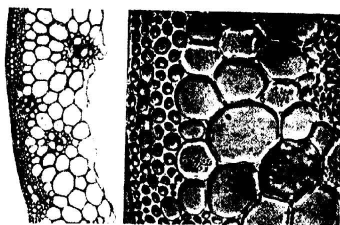


Abbildung 65. K_2O = 1000.
Grunddüngung: P_2O_5 = 1000; N = 1000.

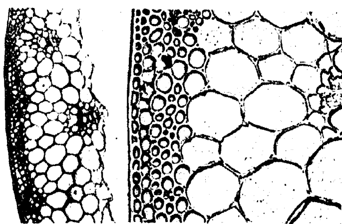


Abbildung 66. K_2O = 3000.
Grunddüngung: P_2O_5 = 1000; N = 1000.

Gefäß zeigt schon rein äußerlich ein sehr schwaches Wachstum. Der Halmdurchmesser ist nicht größer als der der kalifreien Düngung. Wie dort macht sich auch hier die Weichheit des Materials bei der Anfertigung des Schnittes unangenehm bemerkbar. Im anatomischen Aufbau ist ebenfalls starke Ähnlichkeit mit dem Material der K-freien Düngung festzustellen. Die Epidermis sowie die schmale Sklerenchymschicht weisen große Lumina und schwache Zellwände auf. Auch die Zellwände der Gefäßbündelscheide und des Parenchyms sind nur schwach entwickelt. Bei geringen K_2O-Gaben und hohen N- und P_2O_5-Gaben wird hier also bei weitem nicht die Festigkeit des Gewebes erreicht wie z. B. schon bei einer Gabe von 100 mg K_2O und gleichzeitiger Gabe von 500 mg N und 250 mg P_2O_5 je Gefäß. Die Erhöhung der K_2O-Zufuhr ändert das Bild sofort. Die Sklerenchymschicht wird breiter und dichter, sämtliche Zellwände werden stärker ausgebildet. Natürlich wird auch der Halmdurchmesser größer, so daß über eine Zunahme der Festigkeit des Halmes kein Zweifel bestehen kann. Wie beim Hafer wird jedoch auch bei der Gerste die beste Ausbildung erst durch die höchste Kaligabe erreicht, die nochmals eine Verbreiterung der Sklerenchymschicht und eine schwache Verstärkung der Zellwände bewirkt.

Wie schon erwähnt, sind die Ansichten über die Wirkungen der einzelnen Salze auf den anatomischen Bau nicht übereinstimmend. Nach unseren Erfahrungen liegt das zum Teil daran, daß bei der Untersuchung der Wirkung eines Nährstoffes zuwenig Wert auf die Mitwirkung der übrigen gelegt wird. Aus unseren Versuchen geht hervor, daß man bei der gleichen K_2O-Düngung durch starke Steigerung der übrigen Nährstoffe zu ungünstigeren Ergebnissen kommt, daß man diesen ungünstigen Einfluß aber aufheben kann, wenn man gleichzeitig die Kaligabe entsprechend erhöht. In solchen Fällen handelt es sich nicht um eine schädliche Überschußdüngung, sondern um eine ungünstige Verschiebung des Nährstoffverhältnisses.

Literatur.

1. KRAUS, C., Die Lagerung der Getreide. Stuttgart 1908.
2. TOBLER, Fr., Die Düngung von Faserpflanzen und ihre Beurteilung. Die Ernährung der Pflanze 1934, S. 313—318.
3. ACKER, W., Die Wirkung der Kalidüngung auf den Bau und das mechanische Verhalten des Gerstenhalmes. Archiv für Pflanzenbau Bd. 9, S. 104—155 (1932).
4. RASDORSKY, W., Über die Baumechanik der Pflanzen. Biologia Generalis Bd. V, S. 63 bis 94 (1929).
5. THIELE, R., Jahresbericht der Vereinigung für angewandte Botanik 1907, S. 175—181.
6. WECK, R., Faserforschung 1924 (zit. nach ACKER).
7. STUCH, P., Beiträge zur Untersuchung der Halmfestigkeit bei Getreidearten unter dem Einfluß der Düngung und sonstiger Einflüsse. Zeitschr. f. Pflanzenernährung, Düngung u. Bodenkunde A 1926, S. 257—290.
8. KRÜGER, WIMMER u. BREDEMANN, Faserforschung 1923.

Zusammenfassung.

Bei Düngungsversuchen wurde beobachtet, daß Mangelpflanzen Halmknickungen zeigten, die offenbar durch ihren anatomischen Bau begründet waren. Bei zunehmender Kalidüngung nehmen diese Halmknickungen ab. Mikroskopische Untersuchungen ergaben, daß die gesteigerte Kalidüngung bis zur höchsten angewandten Düngermenge eine eindeutige Verstärkung im anatomischen Aufbau des Gersten- und Haferhalmes bewirkt. Zu starke Stickstoff- und Phosphorsäuregaben rufen eine Schwächung des Halmes hervor. Diese Schwächung kann durch entsprechend höhere Kaligaben wieder aufgehoben werden. Sie ist mithin als Wirkung einer ungünstigen Verschiebung des Verhältnisses von Kali zu den anderen Nährstoffen zu betrachten. Bei unseren Untersuchungen ergab sich als günstigstes Nährstoffverhältnis $N : P_2O_5 : K_2O$ für die Halmstruktur:

bei Hafer das Verhältnis 1 : 0,5 : 2
bei Gerste . . . . 1 : 1 : 3.

SUMMARY.

During field experiments on grain crops it was observed that the stalks of plants suffering from nutrient deficiency tended to break easily, due to weaknesses in their anatomical structure. Increased applications of potash reduced this tendency to breakage. Microscopic examination of the stalks showed that by increasing the potash applications it is possible to strengthen the anatomical structure of the stalks of barley and oat plants. Excessive dressings of nitrogen and phosphoric acid tend to produce the opposite effect. This tendency can, however, be counteracted by corresponding increases of the potash applications. The weakening of the stalks may be ascribed to an unfavourable balance between potash and the other plant foods. Our investigations showed the following ratios to be the most favourable for the structure of the stalk:

for oats $N : P_2O_5 : K_2O = 1 : 0{,}5 : 2$
for barley $N : P_2O_5 : K_2O = 1 : 1 : 3$.

4. Das Verhältnis von Korn : Stroh bei Getreide in seiner Abhängigkeit von Boden, Witterung und Düngung.

Bei der Aberntung von Getreideversuchen auf kleinen Parzellen mit vielfacher Wiederholung ergeben sich, wenn eine große Anzahl von Versuchen mit wenig Personal zu bewältigen ist, recht beträchtliche Schwierigkeiten bei der getrennten Bestimmung von Kornertrag und Strohertrag. Diese Schwierigkeiten haben dazu geführt, daß man der Vereinfachung halber nur die Gesamterträge bestimmte und diese nach bestimmten Verhältnissen in Korn und Stroh aufteilte. Diese Bestimmungsart ist deswegen sehr bedenklich, weil der Wert für den Kornertrag, der schließlich doch den Erfolg einer Düngungsmaßnahme bedingt, dadurch äußerst ungenau wird. Diese Fehlerquelle ist längst erkannt und man hat diese Art der Versuchsberechnung in der Weise zu verfeinern getrachtet, daß man für jedes Jahr und für jeden Bezirk sowie auch für jede Düngungsart bestimmte Verhältnisse von Korn zu Stroh ermittelte, die man dann als Durchschnittswerte verallgemeinerte. Auch ein solches Vorgehen ist aber zu beanstanden, da stets zahl

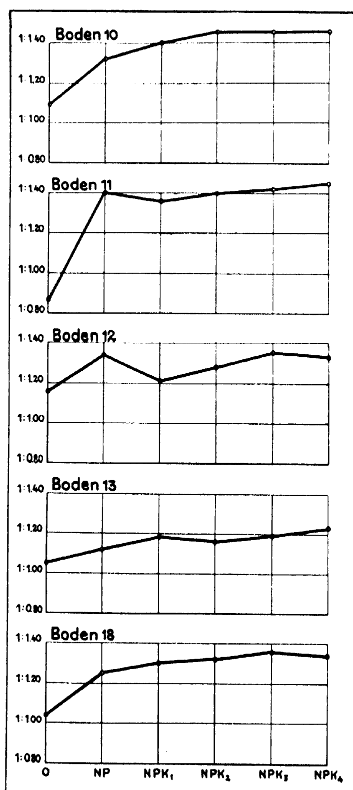


Abb. 67. Korn : Stroh-Verhältnis bei Hafer (Gefäßversuche).
Pot experiments on oats. Ratio grain: straw.

reiche der Variablen, von denen das Verhältnis Korn : Stroh abhängig ist, vernachlässigt werden müßten.

Wie unregelmäßig das Verhältnis Korn : Stroh bei verschiedenen Bodenarten schwankt, zeigt Tabelle 1 bzw. Abb. 67. Es handelt sich hier um Gefäßversuche, bei denen Sorge dafür getragen ist, daß der

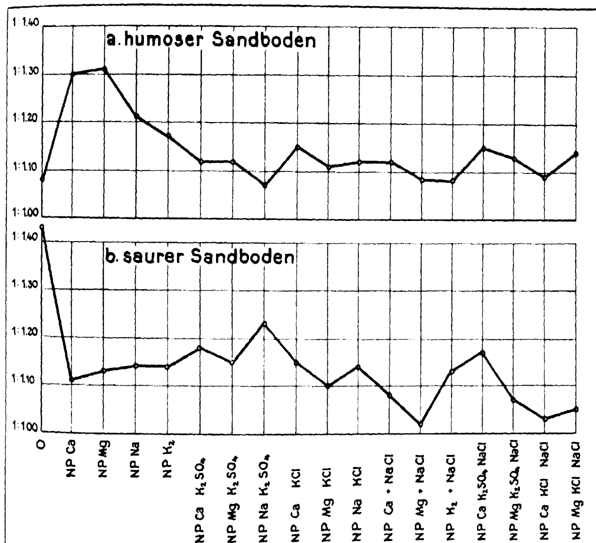


Abb. 68. Korn : Stroh-Verhältnis bei Hafer (Gefäßversuche).
Pot experiments on oats. Ration grain : straw.

Einfluß der Witterungsverhältnisse ausscheidet. Eine Veränderung der Düngung hat hier vollkommen unübersichtlich auf das Verhältnis von Korn : Stroh gewirkt. Es ist dies verständlich, wenn man bedenkt, daß man es bei der Benutzung von Böden nicht in der Hand hat, das Nährstoffverhältnis beliebig zu gestalten, sondern daß das Nährstoffverhältnis der Düngung durch die Bodennährstoffe verändert wird. Eine zweite Reihe von Versuchen, die auf einem humosen und auf

einem sauren Sandboden mit verschiedenen Phosphaten als Grunddüngung durchgeführt wurden, belegt Tabelle 2 und Abb. 68. Auf beiden Böden äußert sich die Wirkung der Düngung auf das Korn: Stroh-

Tabelle 1. Korn: Stroh-Verhältnis bei Gefäßversuchen zu Hafer.

Boden	O	NP	NPK_1	NPK_2	NPK_3	NPK_4
B 10	1:1,09	1:1,32	1:1,40	1:1,45	1:1,45	1:1,45
B 11	1:0,87	1:1,40	1:1,36	1:1,40	1:1,42	1:1,45
B 12	1:1,16	1:1,34	1:1,21	1:1,28	1:1,35	1:1,33
B 13	1:1,05	1:1,12	1:1,18	1:1,16	1:1,19	1:1,23
B 18	1:1,04	1:1,25	1:1,30	1:1,32	1:1,36	1:1,34

Tabelle 2. Korn: Stroh-Verhältnis bei Gefäßversuchen zu Hafer.

Düngung	Korn: Stroh auf humosem Sandboden	Korn: Stroh auf saurem Sandboden
O	1:1,08	1:1,43
NPCa	1:1,30	1:1,11
NPMg	1:1,31	1:1,13
NPNa	1:1,21	1:1,14
NP K_2SO_4	1:1,17	1:1,14
NPCa K_2SO_4	1:1,12	1:1,18
NPMg K_2SO_4	1:1,12	1:1,15
NPNa K_2SO_4	1:1,07	1:1,23
NPCa KCl	1:1,15	1:1,15
NPMg KCl	1:1,11	1:1,10
NPNa KCl	1:1,12	1:1,14
NPCa + NaCl	1:1,12	1:1,08
NPMg + NaCl	1:1,08	1:1,02
NP K_2SO_4 + NaCl	1:1,08	1:1,13
NPCa K_2SO_4 + NaCl	1:1,15	1:1,17
NPMg K_2SO_4NaCl	1:1,13	1:1,07
NPCa KCl NaCl	1:1,09	1:1,03
NPMg KCl NaCl	1:1,14	1:1,05

Verhältnis ganz verschieden. So hat die einseitige Düngung mit Stickstoff und Phosphorsäure auf dem humosen Sandboden das Korn: Stroh-Verhältnis verschlechtert, auf dem sauren Sandboden dagegen verbessert. Wurde durch Zufügung von Kali die Düngung zu einer Volldüngung erweitert, so wurde auf dem humosen Sandboden die durch

einseitige Düngung bewirkte Verschlechterung wieder aufgehoben, auf dem sauren Sandboden war dagegen der Zusatz von Kali im allgemeinen ohne Wirkung.

Der Einfluß der Witterung auf das Verhältnis Korn : Stroh wird gezeigt durch eine Reihe von Versuchen, die in Betonparzellen (Abb. 69)

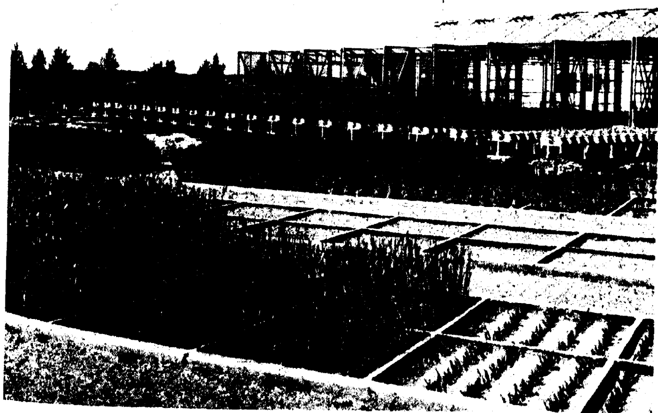


Abb. 69. Düngungsversuche in 1 qm großen Betonparzellen.
Fertiliser experiments in cement plots (1 qm).

in aufeinanderfolgenden Jahren durchgeführt worden sind (Tabelle 3). So schwankte bei Winterroggen in den verschiedenen Jahren auf der ungedüngten Parzelle das Korn : Stroh-Verhältnis zwischen 1,67 und 2,10, bei Wintergerste zwischen 0,99 und 1,72. Die Düngung wirkte sich in den einzelnen Jahren ganz verschieden aus, wie die Kurvendarstellung (Abb. 70) deutlich erkennen läßt.

Wenn man bedenkt, daß bei den vorerwähnten Versuchen entweder wie bei den Gefäßversuchen die Witterung, oder wie bei den Beton-

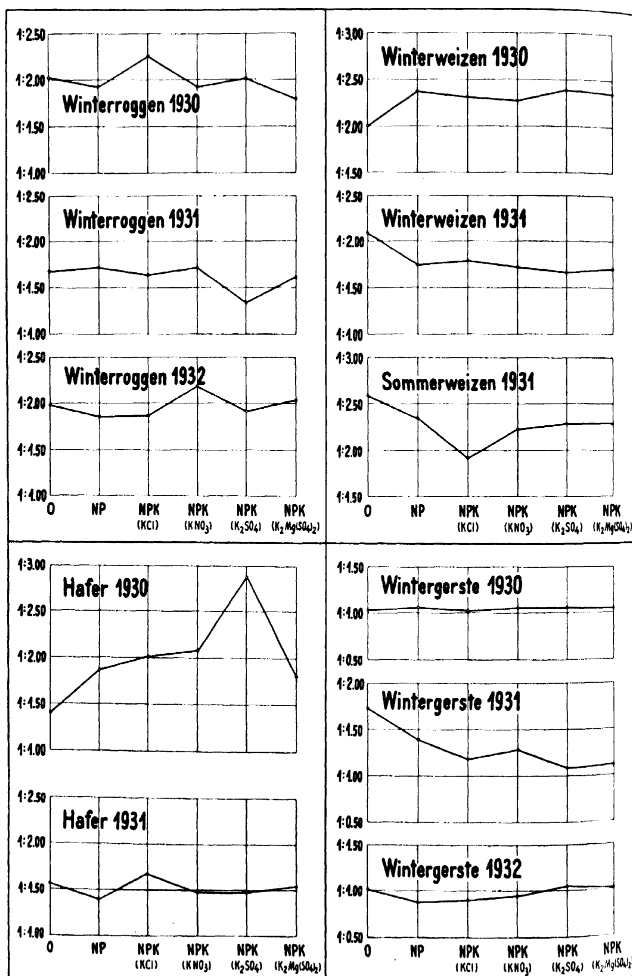


Abb. 70. Korn : Stroh-Verhältnis auf Betonparzellen.
Experiments in cement plots. Ratio grain: straw.

parzellenversuchen der Boden gleich war, so kommt man zu dem Schlusse, daß hier an und für sich die Vorbedingungen für die Erzielung eines einheitlichen Verhältnisses von Korn und Stroh besonders günstig waren. Wenn selbst unter diesen Verhältnissen eine derartige Unregelmäßigkeit beobachtet wurde, so läßt sich daraus folgern, daß bei Freilandversuchen, die unter abweichenden örtlichen Verhältnissen durchgeführt werden, wo also Boden und Witterung Verschiedenheiten bedingen, die Übereinstimmung noch viel schlechter sein wird, so daß es praktisch nicht möglich ist, eine vereinfachte Berechnung der Kornerträge durch schematische Aufteilung der Gesamterträge vorzunehmen.

Tabelle 3. Korn : Stroh-Verhältnis bei Versuchen auf Betonparzellen.

Jahr	Frucht	O	NP	NPK (KCl)	NPK (KNO_3)	NPK (K_2SO_4)	NPK [$K_2Mg(SO_4)_2$]	Düngung in kg/ha		
								N	P_2O_5	K_2O
1930	Winterroggen	2,02	1,93	2,27	1,93	2,01	1,80	120	90	240
1931	Winterroggen	1,67	1,71	1,63	1,71	1,33	1,62	40	40	60
1932	Winterroggen	1,97	1,85	1,87	2,18	1,91	2,03	50	50	80
1930	Sommergerste	1,03	1,06	1,02	1,05	1,05	1,04	120	90	240
1931	Wintergerste	1,72	1,39	1,18	1,28	1,08	1,11	40	40	60
1932	Wintergerste	1,01	0,88	0,90	0,94	1,04	1,01	50	50	80
1930	Winterweizen	2,00	2,37	2,31	2,27	2,39	2,36	120	90	240
1931	Winterweizen	2,08	1,74	1,79	1,72	1,66	1,70	40	40	60
1931	Sommerweizen	2,58	2,34	1,92	2,22	2,28	2,28	40	40	60
1930	Hafer	1,40	1,88	2,01	2,08	2,87	1,82	120	90	240
1931	Hafer	1,56	1,39	1,68	1,48	1,48	1,54	40	40	60

Zusammenfassung.

Das Verhältnis von Korn zu Stroh erwies sich als abhängig von der Bodenart, der Witterung und der Düngung. Das Zusammenwirken dieser Faktoren hat Verschiebungen im Verhältnis von Korn zu Stroh zur Folge, die sich nicht von vornherein überblicken lassen. Das zur Ersparung von Arbeit bei der Aberntung von Düngungsversuchen gelegentlich vorgeschlagene Verfahren, nur die Gesamternte zu bestimmen und nach örtlich ermittelten allgemeinen Verhältnissen von Korn zu Stroh die Erträge an Korn und Stroh zu berechnen, erscheint mithin als bedenklich.

SUMMARY.

The ratio of grain to straw in the yield proved to be dependent on soil type, climatic conditions and manuring. The combined effect of these factors tends to produce changes in this ratio which, however, cannot be foreseen. On this account the practice of determining only the total yield and calculating the yield of grain and straw from a locally determined general ratio grain : straw in order to simplify the harvesting of experimental plots, would tend to give misleading results.

5. Zur Magnesiaversorgung der Pflanze.

Daß das Magnesium zu den für das Wachstum der Pflanzen unentbehrlichen Elementen gehört, ist lange bekannt. Magnesia bildet einen regelmäßigen Bestandteil der Pflanzenasche, und in Wasserkulturen hatte sich ihre Unentbehrlichkeit einwandfrei nachweisen lassen. LOEW (1) regte um die Jahrhundertwende das Interesse für eine Düngung mit Magnesia an, indem er die Lehre aufstellte, daß ein bestimmtes Verhältnis von Kalk : Magnesia besonders günstige Bedingungen für das Pflanzenwachstum bilde. Die Aufklärung der Konstitution des Chlorophylls als Magnesiumverbindung lieferte neue Grundlagen für die Notwendigkeit des Magnesiums als Pflanzennährstoff. Bei Feldversuchen konnte aber die Notwendigkeit einer Zufuhr von Magnesia gewöhnlich nicht nachgewiesen werden. Dies Ergebnis erklärt sich — abgesehen von der Häufigkeit reichlich magnesiaversorgter Böden — damit, daß die Landwirtschaft bei der früher allgemein üblichen Kalidüngung mit dem damals erhältlichen Mineral Kainit dem Boden ohnehin regelmäßig größere Mengen schwefelsaure Magnesia zuführte. Bemerkenswert war allerdings die auf empirischen Gründen basierte Vorliebe der holländischen Landwirtschaft für ein bei der Fabrikation von schwefelsaurem Kali entstehendes Zwischenprodukt, die Kalimagnesia. JACOB (2) kam auf Grund der Ergebnisse von mehrjährigen, in großem Umfange in verschiedenen Gebieten Deutschlands und Hollands durchgeführten Kartoffeldüngungsversuchen (1917—19) zu dem Schluß, daß eine Magnesiadüngung den Knollenertrag erhöht und daß in den meisten Fällen die Kalimagnesia hinsichtlich der Stärkeerträge an der Spitze

Abb. 71. Magnesiamangelerscheinungen an der Haferpflanze zur Zeit des Schossens.

Symptoms of magnesium deficiency on oat plants.



Gesunde Pflanze.
Healthy plant.

Beginnender Magnesiamangel: Mangelhafte Ausbildung des Blattgrüns.
Incipient magnesium deficiency.

Fortgeschrittener Magnesiamangel: Gelbfärbung der Blätter.
Advanced magnesium deficiency.

steht. Eine außerordentlich augenfällige Wirkung einer Düngung mit schwefelsaurer Magnesia erzielte RÖSSLER (3) sowohl bei Feld- wie bei Vegetationsversuchen auf austauschsauren Böden zu Roggen. RÖSSLER zog zur Erklärung dieser unerwartet großen Magnesiawirkung die Annahme heran, daß durch eine Gabe von Magnesiasalzen eine Festlegung der in der Düngung verabreichten Phosphorsäure durch Eisen und Aluminium infolge Bildung von Magnesiumphosphat verhindert würde. Eine Bestätigung für die Ergebnisse von RÖSSLER stellen die Versuche GEHRINGS (4) dar. Bei diesen Versuchen erwies sich die Wirkung der Magnesia als abhängig vom Kalkzustand des Bodens. Bei einem Kalksättigungsgrad nach GEHRING-WEHRMANN unter 20 war die durchschnittliche Magnesiawirkung +58,4 %, zwischen 40 und 70 durchschnittlich +3,8 und beim Kalksättigungsgrad über 70 nur noch +0,2 %. Die bei einem Kalksättigungsgrad über 70 verschiedentlich wieder beobachteten Ertragssteigerungen erinnern an den nach LOEW zwischen Kalk und Magnesia bestehenden Ionenantagonismus.

Auch LEMMERMANN und BEHRENS (5) bearbeiteten die Magnesiafrage. Sie konnten feststellen, daß die günstige Wirkung der Magnesiadüngung zum Teil auf Magnesiamangel der Böden beruhte. Daneben trat aber auch auf sauren Böden, die von Haus aus genügend mit Magnesia versorgt waren, eine Magnesiawirkung ein. Auf anderen Böden wieder war die Magnesiawirkung bei ungekalktem Zustand stärker als nach Kalkung. LEMMERMANN nimmt daher an, daß die günstige Wirkung der Magnesiadüngung zum Teil auch der entgiftenden Wirkung des Magnesiums auf das Wasserstoffion zuzuschreiben ist.

Bei unseren eigenen Versuchen (vgl. Bd. I, S. 184—192, 197—206) hat sich ebenfalls die Notwendigkeit gezeigt, die Pflanze genügend mit Magnesia zu versorgen. Als geeignete Form der Magnesiadüngung erwies sich die schwefelsaure Magnesia. Bei Magnesiamangel konnte die Pflanze das Blattgrün nicht mehr vollständig ausbilden, das Blattgrün trat nur noch in vereinzelten Tupfen auf gelbem Untergrunde auf (Abb. 71). Der Boden der Versuchsfelder unserer Versuchsstation erwies sich als magnesiaarm und bei Anwendung magnesiafreier Düngung traten außerordentlich schwere Schädigungen des Pflanzenbestandes auf. Auf den vollgedüngten Parzellen waren diese Schäden



Abb. 72. Magnesiamangelerscheinungen im Herbst 1933.
Experiment field showing localised magnesium deficiency in autumn 1933.

am stärksten, da hier die Verarmung an Magnesia naturgemäß am weitesten vorgeschritten war. Wurde hier eine Düngung mit Kalisalzen, die schwefelsaure Magnesia enthielten, verabfolgt, so waren diese Schäden, die man zunächst für eine Krankheitserscheinung halten konnte, sofort geheilt. Auf einem Teil unseres Versuchsgeländes, das durch Anbau von Roggen in einseitiger Stickstoffdüngung für Versuchszwecke ausgeglichen werden sollte, zeigten sich ebenfalls in nesterartiger Verbreitung Magnesiamangelschäden. Diese Stellen breiteten sich von Jahr zu Jahr immer weiter aus, so daß das Feld, das wir gleichsam als Naturschutzpark zur Demonstration der Magnesiamangelerscheinungen aufrechterhielten, das aus den Abb. 72 und 73 ersichtliche Aussehen zeigte. Auf einem benachbarten Felde, wo diese Mangelerscheinungen auf den mit magnesiafreien Kalisalzen gedüngten Parzellen ebenfalls auftraten, zeigten die Parzellen, die eine Düngung mit



Abb. 73. Magnesiamangelerscheinungen auf dem gleichen Feld im Herbste 1934.
Bare patches due to magnesium deficiency on the same field in autumn 1934.

magnesiahaltigen Kalisalzen erhalten hatten, einen gut ausgeglichenen Stand (Abb. 74).

Beobachtungen über ähnliche Magnesiamangelerscheinungen konnten wir in von Jahr zu Jahr zunehmendem Maße auf zahlreichen leichteren Böden Norddeutschlands machen. Diese Zunahme dürfte darin zu erklären sein, daß das früher für Düngerzwecke benutzte Mineral Kainit, das restlos abgebaut ist, der Landwirtschaft nicht mehr zur Verfügung steht und daß die Landwirtschaft bei Verwendung von aus Sylviniten hergestellten Kalisalzen dem Boden Magnesia nicht mehr in gleichem Maße zuführt.

Unsere Bemühungen, eine Bodenuntersuchungsmethode auszuarbeiten, die es gestattet, den kritischen Punkt zu erkennen, unter den der Magnesiagehalt des Bodens nicht sinken darf, ohne Schädigungen der Pflanzen hervorzurufen, waren bisher noch nicht erfolgreich. Dies ist

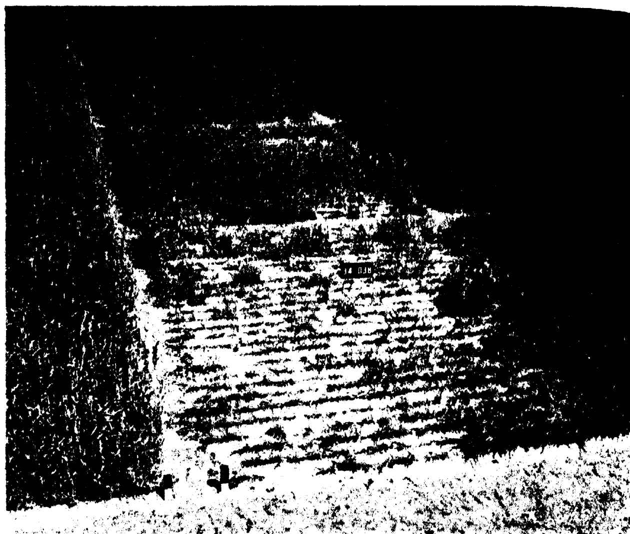


Abb. 74. Magnesiamangelerscheinungen auf den mit magnesiumfreien Kalisalzen gedüngten Parzellen. Gesunder Bestand auf den mit magnesiumhaltigen Kalisalzen gedüngten Parzellen.

Symptoms of magnesium deficiency on plots treated with potash salts containing no magnesia. Healthy stand of crop on plots treated with potash salts containing magnesia.

erklärlich, wenn man bedenkt, daß infolge des hohen Wirkungsfaktors der Magnesia einerseits schon ganz geringe Mengen Magnesia genügen, um die Pflanze ausreichend zu versorgen, daß aber ein geringes Unterschreiten dieses Punktes bereits starke Schädigungen hervorruft. Die Unterschiede in dem Gehalte an pflanzenlöslicher Magnesia zwischen Böden, die die Pflanze noch genügend mit Magnesia versorgen, und solchen, auf denen Magnesiamangelschäden auftreten, sind daher so gering, daß sie analytisch noch nicht erfaßt werden können. Es stellte sich sogar heraus, daß auf gewissen Böden in manchen Jahren Magnesiamangelschäden auftraten, in anderen Jahren aber nicht, weil infolge veränderter Niederschlagsbedingungen wahrscheinlich die Löslichkeit

der Magnesia größer war oder eine bessere Entwicklung des Wurzelsystems der Pflanze die Ausnutzung des Magnesiagehaltes einer größeren Bodenmenge ermöglichte. Es ist daher noch nicht möglich, den Landwirt auf Grund einer Bodenuntersuchung von vornherein darüber zu unterrichten, ob auf seinem Boden eine Magnesiazufuhr nötig ist. Eine Düngung mit Magnesia ist mithin bis zu einem gewissen Grade als eine vorbeugende Versicherungsmaßnahme zu betrachten.

Zur Lösung der Frage, wie hoch der Magnesiagehalt eines Kalisalzes mindestens sein muß, um dem Auftreten von Magnesiamangelschäden



0,0 0,01 0,05 0,1 0,25 0,5 1,0 mval Mg/2

Abb. 75. Düngungsversuche zu Gerste in Wasserkultur mit steigenden Magnesiagaben.
Nutrient experiments on barley in water culture with increasing amounts of magnesia.

vorzubeugen, führten wir eine Reihe von Gefäßversuchen in Wasser- und Sandkultur durch, bei denen die Wirkung steigender Zusätze von schwefelsaurer Magnesia zu einer Volldüngung mit Kali geprüft wurde.

Bei den Wasserkulturversuchen (Abb. 75) betrug die Grunddüngung in Millival je Liter 6 N, 3 P, 6 K entsprechend 0,084 mg N, 0,071 mg P_2O_5 und 0,2826 mg K_2O. Als Differenzdüngung wurde schwefelsaure Magnesia in Mengen von 0—5,0 mval je Liter verabfolgt. Versuchspflanze war Gerste. Über die Ergebnisse des Versuches unterrichtet Tabelle 1.

Die Erträge an Trockensubstanz waren in den ersten beiden Gefäßen infolge Mg-Mangels sehr niedrig. Bei dem Zusatz von 0,05 mval Mg waren die gröbsten Schäden behoben. Eine Steigerung des Mg-Zusatzes auf 0,1—0,25 verursachte jedoch noch eine weitere Steigerung der Erträge an Trockensubstanz.

Eine schwache Erhöhung des MgO-Gehaltes der Asche machte sich bei den Gaben von 0,05 und 0,10 mval Mg bemerkbar, weitere Erhöhungen des Mg-Gehaltes der Lösung steigerten den Prozentgehalt der Trockensubstanz an Mg in stärkerem Maße.

Die Ergebnisse dieser Wasserkulturversuche führen zu dem Schluß, daß eine Menge von 0,05—1,0 mval Mg bei der gegebenen Kalidüngung von 6 mval K notwendig und ausreichend war, um Mg-Mangelschäden zu verhüten. Da 1 mval Mg 60 mg $MgSO_4$ und 1 mval K 47 mg K_2O entspricht, bedeutet dies, daß bei einer Düngung von 6 mval K = 282 mg K_2O eine Zusatzdüngung von 3—6 mg $MgSO_4$

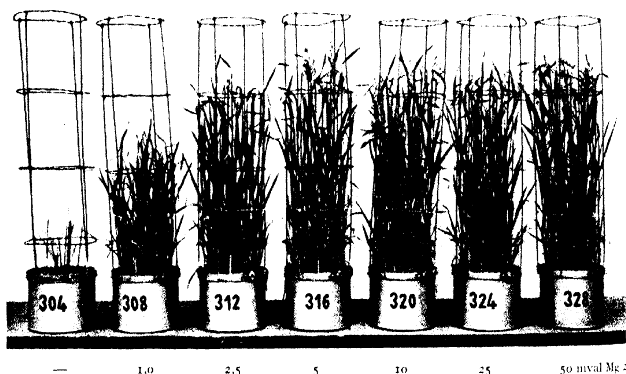
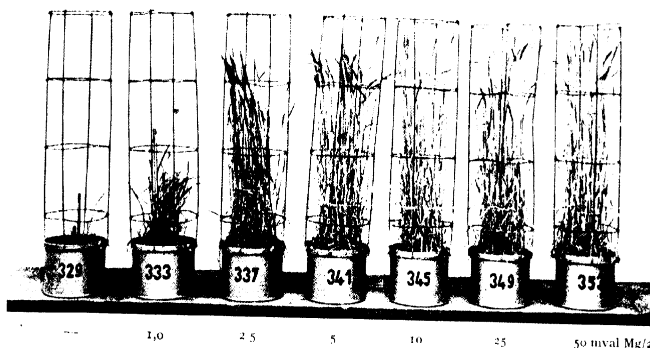


Abb. 76. Gefäßversuche in Sandkultur zu Hafer mit steigenden Magnesiagaben.
Nutrient experiments on oats in sand culture with increasing amounts of magnesia.

Tabelle 1.

Wasserkulturversuche zu Gerste mit steigenden Magnesiagaben.

Düngung in mval/l 6 N, 6 K, 3 P Differenzdüngung Mg mval	Trockensubstanz pro Gefäß g	Asche %	N %	P_2O_5 %	K_2O %	CaO %	MgO %
0,00	0,77 ± 0,09	22,28	3,69	3,50	12,46	2,14	0,051
0,01	1,28 ± 0,128	22,01	3,39	3,94	13,12	2,25	0,043
0,05	3,27 ± 0,049	19,32	3,27	1,89	9,22	2,04	0,064
0,10	4,05 ± 0,37	16,54	2,99	1,54	8,02	1,81	0,084
0,25	4,35 ± 0,24	15,07	2,93	1,57	7,50	1,54	0,209
0,5	3,69 ± 0,25	15,35	3,69	1,61	7,33	1,66	0,368
1,0	3,99 ± 0,07	15,31	3,46	1,63	7,42	1,42	0,506
2,5	3,33 ± 0,16	17,14	3,72	2,05	7,73	1,39	0,984
5,0	3,58 ± 0,28	15,28	4,63	1,80	7,19	0,93	1,063

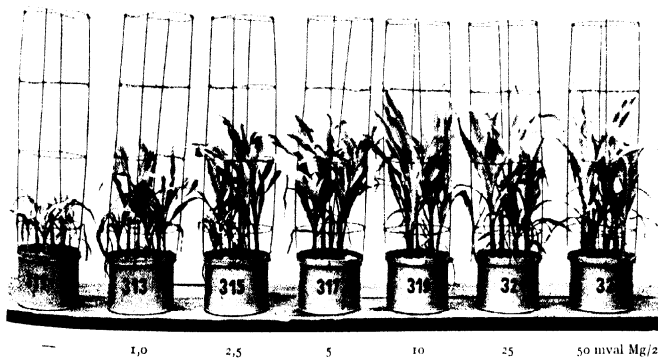


— 1,0 2,5 5 10 25 50 mval Mg/2

Abb. 77. Gefäßversuche in Sandkultur zu Gerste mit steigenden Magnesiagaben.
Nutrient experiments on barley in sand culture with increasing amounts of magnesia.

erforderlich ist. Bereits der geringe Zusatz von 0,5—1 % schwefelsaurer Magnesia zu einem 40er oder 50er Kalidüngesalz würde nach diesen Versuchen ausreichen, um Magnesiamangelschäden zu verhüten.

Bei den Sandkulturversuchen benutzten wir als Versuchspflanze Hafer (Abb. 76) und Gerste (Abb. 77), die bis zur Reife gebracht wurden, ferner Mais (Abb. 78), der infolge der



— 1,0 2,5 5 10 25 50 mval Mg/2

Abb. 78. Gefäßversuche in Sandkultur zu Mais mit steigenden Magnesiagaben.
Nutrient experiments on maize in sand culture with increasing amounts of magnesia.

vorgeschrittenen Jahreszeit unreif geerntet wurde. Bei diesen Versuchen betrug die Grunddüngung je Gefäß:

90 mval N = 1,26 g N in NH_4NO_3
45 „ P = 1,06 g P_2O_5 in $CaHPO_4 \cdot 2\,H_2O$
50 „ K = 2,355 g K_2O in K_2SO_4,

ferner 3,0 g $CaCO_3$

und 0,1 g Fe_2O_3.

Die Vegetationsperiode dauerte bei

Hafer vom 1. 4. bis 26. 7. 1932
Gerste vom 1. 4. bis 12. 7. 1932
Mais vom 19. 8. bis 1. 11. 1932

Die Ergebnisse des Versuches sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2.

Gefäßversuche zu Hafer in Sandkultur mit steigenden Mg-Gaben.

Düngung		Trockensubstanz Erntegewicht g	Aschenanalyse						
			Asche %	N %	P_2O_5 %	K_2O %	Na_2O %	CaO %	MgO %
NPK ohne Mg	Korn / Stroh	4,8 ± 0,5	11,08	2,32	1,79	5,70	0,26	0,65	0,17
NPK + 1,0 mval Mg/2 .	Korn	27,5 ± 2,4	2,84	2,20	0,98	0,91	0,07	0,18	0,24
	Stroh	41,0 ± 1,7	8,55	0,68	0,61	4,06	0,54	0,62	0,16
NPK + 2,5 mval Mg/2 .	Korn	42,7 ± 0,9	2,24	1,62	0,80	0,80	0,06	0,15	0,22
	Stroh	54,0 ± 1,0	6,12	0,33	0,27	2,76	0,53	0,48	0,14
NPK + 5 mval Mg/2 . .	Korn	44,5 ± 1,5	2,19	1,64	0,80	0,81	0,06	0,16	0,24
	Stroh	59,5 ± 2,4	6,50	0,33	0,25	2,73	0,55	0,48	0,19
NPK + 10 mval Mg/2 .	Korn	48,3 ± 0,8	2,19	1,52	0,80	0,79	0,07	0,13	0,26
	Stroh	63,7 ± 1,6	6,10	0,27	0,42	2,63	0,53	0,48	0,25
NPK + 25 mval Mg/2 .	Korn	41,7 ± 0,8	2,69	1,83	0,85	0,86	0,06	0,11	0,29
	Stroh	50,0 ± 1,2	6,89	0,34	0,35	3,10	0,52	0,38	0,38
NPK + 50 mval Mg/2 .	Korn	45,5 ± 0,6	2,26	1,60	0,83	0,77	0,07	0,12	0,31
	Stroh	58,2 ± 1,2	6,38	0,31	0,27	2,70	0,50	0,38	0,48

Bei dem Haferversuch kam es in den Gefäßen ohne Mg-Zusatz überhaupt nicht zur Kornbildung, da die Pflanzen von vornherein verkümmerten. Bei einem Zusatz von 1 mval Mg betrugen die Kornerträge nur $^2/_3$, die Stroherträge nur $^4/_5$ des Höchstertrages. Bei der Gabe von 2,5 mval Mg waren die Erträge an Korn und Stroh befriedigend, wenngleich stärkere Gaben von Mg bis zu 10 mval noch eine weitere Steigerung bewirkten. Höhere Gaben ließen die Erträge wieder abnehmen.

Der MgO-Gehalt des Kornes erreichte bereits bei der Gabe von 1,0 mval die Normalhöhe. Bis zur Gabe von 10 mval Mg blieb der Mg-Gehalt des Kornes annähernd konstant. Höhere Gaben führten zu einer schwachen Erhöhung des MgO-Gehaltes des Korns, die von einer Herabsetzung des CaO-Gehaltes begleitet war (Tabelle 5).

Im Stroh bewirkten steigende Zusätze bis zu 2,5 mval keine Steigerung des Mg-Gehaltes, sondern eher eine schwache Herabsetzung, was durch die starke Ertragssteigerung zu erklären ist. Höhere Mg-Gaben äußerten sich in einer stetigen Steigerung des Mg-Gehaltes im Stroh. Bis zu Gaben von 10 mval Mg wurde die gegebene Mg-Düngung vollständig von der Pflanze aufgenommen, es wurde sogar der Mg-Gehalt des Sandes angegriffen. Die höchsten Gaben mit 25—50 mg Mg wurden nur mit 61 bzw. 41% ausgenutzt.

Nach dem Ergebnis des Haferversuches ist ein Mg-Zusatz von 2,5—5 mval Mg zu der gegebenen Düngung als notwendig anzusehen, entsprechend einer Menge von 150—300 mg $MgSO_4$ auf 2350 mg K_2O, d. h. einem Gehalt des 40er Kalidüngesalzes von 2,5—5%, des 50er Kalidüngesalzes von 3—6% $MgSO_4$.

Tabelle 3.

Gefäßversuche zu Gerste in Sandkultur mit steigenden Mg-Gaben.

Düngung		Trockensubstanz Erntegewicht g	Ascheanalyse: Asche %	N %	P_2O_5 %	K_2O %	Na_2O %	CaO %	MgO %
NPK ohne Mg	Gesamt	2,5 ± 0,1	20,32	—	2,64	6,39	0,65	2,38	0,24
NPK + 1,0 mval Mg/2	Gesamt	14,0 ± 3,4	13,79	2,87	1,88	6,80	0,63	1,43	0,23
NPK + 2,5 mval Mg/2	Korn	19,0 ± 2,4	2,81	2,02	1,02	1,01	0,09	0,13	0,28
	Stroh	39,0 ± 2,0	8,01	1,06	0,70	3,53	0,46	1,19	0,19
NPK + 5 mval Mg/2	Korn	37,2 ± 0,6	2,81	1,68	0,94	0,78	0,08	0,11	0,29
	Stroh	44,0 ± 0,7	6,48	0,58	0,41	2,65	0,40	1,08	0,21
NPK + 10 mval Mg/2	Korn	32,8 ± 1,7	3,48	1,78	1,01	0,83	0,08	0,11	0,34
	Stroh	42,2 ± 1,5	6,61	0,57	0,31	2,85	0,42	0,98	0,25
NPK + 25 mval Mg/2	Korn	33,0 ± 1,2	3,38	1,80	1,03	0,82	0,09	0,11	0,34
	Stroh	44,0 ± 1,0	6,53	0,59	0,36	2,82	0,41	0,93	0,35
NPK + 50 mval Mg/2	Korn	37,8 ± 1,4	2,83	1,61	0,98	0,81	0,09	0,09	0,35
	Stroh	43,2 ± 1,4	6,48	0,58	0,28	2,61	0,43	0,78	0,48

Bei dem Gerstenversuch (Tabelle 3) unterblieb die Kornbildung nicht nur in den magnesiafreien Gefäßen, sondern auch in den Gefäßen mit 1 mval Mg, und auch die Strohausbildung war in beiden Gefäßen nur sehr kümmerlich. Bei der Düngung mit 2,5 mval Mg wurde nur etwa die Hälfte der Höchsternten an Korn erreicht, während die Strohernte befriedigend war. Ein Zusatz von 5 mval Mg führte zu Höchsterträgen an Korn und Stroh. Bei der Düngung mit 2,5 und 5,0 mval Mg war der MgO-Gehalt des Kornes gleich, höhere Mg-Gaben führten zu einer geringen Erhöhung des MgO-Gehaltes. Auch hier zeigten sich Andeutungen einer gleichzeitigen Herabsetzung des CaO-Gehaltes (Tabelle 5). Im Stroh wurde von der MgO-Gabe von 2,5 mval ab, da diese bereits annähernd den Höchstertrag an Stroh erzielte, durch weitere Steigerung der Mg-Gaben eine regelmäßige Erhöhung des MgO-Gehaltes bewirkt. Bis zu Mg-Gaben von 10 mval wurde die gegebene Düngung vollständig ausgenutzt, bei den höchsten Gaben von 25 und 50 mval nur zu 52 bzw. 33%.

Tabelle 4.
Gefäßversuche zu Mais in Sandkultur mit steigenden Mg-Gaben.

Düngung	Trockensubstanz Erntegewicht g	Asche %	N %	P_2O_5 %	K_2O %	Na_2O %	CaO %	MgO %
		Aschenanalyse						
NPK	6,2 ± 0,8	13,89	—	3,11	8,50	0,13	0,65	0,25
NPK + 1,0 mval Mg/2	12,6 ± 1,2	11,59	3,35	1,95	7,29	0,08	0,63	0,24
NPK + 2,5 mval Mg/2	19,0 ± 2,5	10,01	2,81	1,70	4,99	0,08	0,66	0,27
NPK + 5 mval Mg/2	23,8 ± 0,6	8,80	2,35	1,24	4,08	0,07	0,71	0,26
NPK + 10 mval Mg/2	33,0 ± 0,4	7,05	2,08	1,12	3,07	0,07	0,62	0,32
NPK + 25 mval Mg/2	33,8 ± 1,9	6,13	1,54	0,90	2,71	0,05	0,48	0,47
NPK + 50 mval Mg/2	26,8 ± 2,7	7,83	1,99	1,18	3,37	0,06	0,47	0,81

Tabelle 5. Anteil der Kationen an der Kationensumme in Prozent.

(Analysenwert umgerechnet in mval je 100 g Trockensubstanz.)

Mg-Gabe m val	Korn K	Korn Na	Korn Ca	Korn Mg	Stroh K	Stroh Na	Stroh Ca	Stroh Mg
Hafer								
0					78,88	0,52	15,12	5,48
1	51,06	0,53	16,93	31,48	73,11	1,44	18,74	6,70
2,5	50,75	0,60	16,11	32,54	69,51	2,01	20,29	8,18
5	49,14	0,57	16,29	34,00	67,21	2,09	19,81	10,89
10	48,69	0,58	13,34	37,39	64,07	1,95	19,63	14,35
25	49,73	0,54	10,60	39,13	65,87	1,70	13,61	18,82
50	45,03	0,55	11,88	42,54	59,50	1,66	14,13	24,71
Gerste								
0					57,84	0,90	36,19	5,07
1					69,20	0,96	24,39	5,45
2,5	53,23	0,75	11,44	34,58	58,38	1,17	33,13	7,32
5	47,16	0,85	11,08	40,91	52,86	1,22	36,15	9,77
10	45,48	0,77	10,08	43,67	55,35	1,28	32,03	11,34
25	45,19	0,78	10,13	43,90	53,58	1,16	29,70	15,56
50	45,14	0,79	8,40	45,67	51,11	1,28	25,65	21,96
Mais					Blatt			
0					81,93	1,91	10,53	5,63
1					81,69	0,16	11,87	6,28
2,5					74,00	0,20	16,41	9,39
5					69,28	0,16	20,24	10,32
10					63,05	0,19	21,38	15,38
25					58,61	0,20	17,44	23,75
50					55,55	0,16	13,05	31,24

Auch nach den Versuchen zu Gerste kann man eine Mg-Düngung von 5 mval als Zusatz zu einer Kalidüngung von 50 mval als ausreichend betrachten, d. h. eine Gabe von 300 mg $MgSO_4$ auf 2350 mg K_2O bzw. einen $MgSO_4$-Gehalt des 40er Kalidüngesalzes von 5 %, des 50er Kalidüngesalzes von 6 %.

Bei den Maisversuchen (Abb. 78), die frühzeitig geerntet wurden, wurden mit der Gabe von 5 mval 75 % des Höchstertrages erreicht, mit 10 mval der Höchstertrag. Eine Steigerung des MgO-Gehaltes trat bereits bei einer Erhöhung der Mg-Gaben von 5 mval auf 10 mval ein, ein Zeichen, daß hier bereits eine gewisse Luxusaufnahme erfolgte. Die Ausnutzung der Düngung ging bei dieser Steigerung von 94 % auf 61 % zurück. Auch nach den Maisversuchen dürfte mithin die Gabe von 5 mval Mg bei 50 mval K als ausreichend zu betrachten sein, um die durch Mg-Mangel verursachten Schäden zu beheben, d. h. ein Gehalt von etwa 5 % $MgSO_4$ im 40er bzw. im 50er Kalidüngesalz.

Literatur.

1. LOEW, Die Lehre vom Kalkfaktor 1914, S. 5.
2. JACOB, A., Über die Bedeutung der schwefelsauren Magnesia als Düngemittel. Chem.-Ztg. 1921, 45. Jahrg., Nr. 45, S. 445.
3. RÖSSLER, H., Vgl. Landwirtschaftl. Versuchsstationen 1926, Bd. 104, S. 198.
4. GEHRING, A., Praktische Blätter für Pflanzenbau und Pflanzenschutz 6. Jahrg.
5. LEMMERMANN, O., u. W. U. BEHRENS, Über die Bedeutung eines passenden Nährstoffverhältnisses für die Pflanzen. Zeitschr. f. Pflanzenernährung, Düngung u. Bodenkunde Teil A, Bd. 37, H. 5/6, S. 300 (1935).
6. BEHRENS, W. U., Über die Wirkung der Nebensalze der Kalidünger. Zeitschr. f. Pflanzenernährung, Düngung u. Bodenkunde Teil A, Bd. 38, H. 5/6, S. 274 (1935).

Zusammenfassung.

Untersuchungen von RÖSSLER-Darmstadt, GEHRING-Braunschweig, LEMMERMANN-Berlin wie auch frühere Untersuchungen von uns haben ergeben, daß ein Mangel an Magnesia zu schweren Schädigungen der Pflanze führt. Das äußere Bild des Magnesiamangels ist dadurch gekennzeichnet, daß die Pflanze die Fähigkeit zur Bildung von Chlorophyll verliert, die Blätter sind gelb gefärbt und nur vereinzelt treten grüne Tupfen auf. Bei Getreide wird vor allem der Ertrag an Korn durch Mg-Mangel stark beeinträchtigt. Auf unserem Versuchsfelde in

Lichterfelde tritt Magnesiamangel nesterweise auf. Die Stellen, die Magnesiamangel aufweisen, breiten sich von Jahr zu Jahr mehr aus. Auch aus anderen Gebieten Norddeutschlands liegen Mitteilungen vor, daß Schäden, die offenbar auf Mg-Mangel beruhen, vor allem auf leichteren Böden mehr und mehr auftreten. Dies wird, abgesehen von einer natürlichen Magnesiaarmut dieser Böden, darauf zurückgeführt, daß an Stelle des früher üblichen magnesiahaltigen Kainits magnesiafreie Kalisalze zur Düngung Verwendung finden.

Es erwies sich bisher als nicht möglich, analytisch festzustellen, ob ein Boden genügend Magnesia enthält, um eine ausreichende Versorgung der Pflanze mit Magnesia zu gewährleisten.

Der Magnesiabedarf der Pflanze ist so beschaffen, daß bereits ein geringer Magnesiagehalt des Bodens ausreichend ist. Andererseits ist der Wirkungsfaktor der Magnesia sehr hoch, so daß schon ein geringes Unterschreiten des gerade noch ausreichenden Mg-Gehaltes des Bodens zu starken Schädigungen führt.

Da die Notwendigkeit einer Düngung mit Magnesia im besonderen Falle nicht vorausgesagt werden kann, ist die Zufuhr von Magnesia als eine Versicherungsprämie zu betrachten, die natürlich möglichst niedrig gehalten werden muß. Wir untersuchten daher die Frage, welcher Zusatz von schwefelsaurer Magnesia zu Kalisalzen gerade ausreichend ist, um unter Vermeidung einer Verteuerung der Düngung Schäden durch Magnesiamangel mit Sicherheit zu verhüten. In Wasserkulturversuchen zu Gerste sowie in Gefäßversuchen in Sandkultur zu Hafer, Gerste und Mais stellte sich heraus, daß ein Gehalt der Kalidüngesalze von 3—5 % schwefelsaure Magnesia genügt, um Schädigungen der Ernte durch Mg-Mangel vorzubeugen.

SUMMARY.

The investigations of RÖSSLER, Darmstadt, GEHRING, Brunswick, and LEMMERMANN, Berlin, as well as our own experiments, have proved that magnesium deficiency causes severe damage to crops. Magnesium starvation is characterised by the inability of the plant to form chlorophyll. The leaves have a chlorotic yellow colour with a few spots of green in places where some chlorophyll has been formed. In the case of cereals the yield of grain is greatly reduced. On one of our experiment fields at Lichterfelde magnesium deficiency occurs in patches, which increase in area from year to year. From other districts in Northern Germany the increasing occurrence of crop failures on the lighter soil types has been reported and the observations indicate definitely that these failures are a result of magnesium deficiency, which, apart from the natural lack of magnesium in the soil, is also a result of the increasing use of potash fertilisers free from magnesium instead of the older type of kainite, which contained a certain amount of this element.

Up to the present it has not been possible to ascertain by analysis whether a soil contains sufficient available magnesium in order to be able to meet the demands of the crop for this plant food.

The magnesium requirement of the plant is comparatively low, so that a relatively small amount of available magnesium in the soil would probably suffice for most crops. On the other hand the efficiency of magnesium as a nutrient (Wirkungsfaktor) is very high, so that even the slightest fall of the magnesium content of the soil below the minimum necessary to maintain satisfactory growth will lead to serious depressions of the yield.

As it is impossible to foretell whether a soil is deficient in magnesium or not, it is advisable in doubtful cases to apply magnesium in the fertiliser as a precautionary measure against crop failures. The results of our water culture experiments on barley and of pot experiments in sand culture on oats, barley and maize indicate that a magnesium sulphate content corresponding to about 10 % of the K_2O content of the fertiliser is the minimum sufficient to prevent damage to the crop due to magnesium deficiency.

6. Die pflanzenphysiologische Bedeutung von Elementen, die in der Pflanzenasche nur in geringer Menge vorkommen.

Außer den Elementen Phosphor, Kalium, Natrium, Calcium, Magnesium, Schwefel, Silicium, Kohlenstoff und Sauerstoff, welche die Hauptbestandteile der Pflanzenasche bilden, findet man in ihr auch noch eine Reihe anderer Elemente. Welche von diesen anderen Elementen als nebensächlich, und welche als am Aufbau der Pflanze helfend, bezeichnet werden können, ist noch nicht ganz zweifelsfrei festgestellt. Man nimmt an, daß Mangan, vielleicht auch Aluminium, Bor, Zink und Kupfer in geringsten Mengen als lebensnotwendig für den Pflanzenwachstumsprozeß betrachtet werden müssen. Es ist aber keineswegs sicher, ob nicht noch eine ganze Reihe anderer Elementarstoffe in Spuren zum Lebensprozeß erforderlich sind.

Bei der in der Praxis üblichen Düngung kommt eine besondere Zufuhr dieser Elemente gewöhnlich nicht in Betracht, weil die geringen Mengen, welche die Pflanze etwa benötigen sollte, im Boden und häufig auch im Stallmist, enthalten sind. In vielen Fällen hat eine Zufuhr dieser Elemente sogar eine schädigende, vergiftende Wirkung auf die Pflanzen, wie ja auch die Hauptnährstoffe ihre günstige Wirkung auf den Organismus der Pflanzen nur bis zur optimalen Grenze äußern, darüber hinaus aber schädigend wirken.

Eine umfangreiche Literatur beschäftigt sich mit dem Versuch der Aufklärung der Rolle, welche solche Elementarstoffe, die in kleinen Mengen von der Pflanze aufgenommen werden können, für das Wachstum und das Gedeihen des pflanzlichen Organismus spielen. Zahlreiche, anscheinend widersprechende Ergebnisse der Forschung weisen darauf hin, daß die Rolle dieser Bestandteile von Bodenart und Pflanzengattung weitgehend abhängig ist. Wir haben bei unseren bisherigen Untersuchungen über die physiologische Wirkung einer Zufuhr geringer Mengen zunächst das Rubidium und Caesium betrachtet, weil wir von deren Verhalten möglicherweise Aufschluß über die Art der Rolle des Kaliums in der Pflanzenernährung zu erhalten hofften. Das Aluminium wurde von uns eingehend geprüft, weil ihm eine Bedeutung bei dem Auftreten von Säureschäden zugeschrieben wird. Bei Arbeiten über die Bekämpfung der Dörrfleckenkrankheit sahen wir uns ver-

anlaßt, die Wirkung des Mangans näher zu untersuchen, das von HUDIG u. a. als Bekämpfungsmittel empfohlen wird. Ferner nahmen wir auch eine Prüfung der pflanzenphysiologischen Bedeutung des Germaniums vor.

a) Rubidium und Caesium.

Eine Nachprüfung früherer Arbeiten über die pflanzenphysiologische Bedeutung der Elemente Rubidium und Caesium, die mit den Kalisalzen vergesellschaftet vorkommen und in bezug auf den Bau ihrer Atome Ähnlichkeit mit dem Kalium aufweisen, schien uns Aussicht zu bieten, der Lösung einer grundsätzlichen Frage nach der Natur der Kaliwirkung näher zu kommen, nämlich der Frage, ob das Kaliumatom rein stofflich oder auch durch die in ihm enthaltene Strahlungsenergie bei den Wachstumsprozessen der Pflanze beteiligt ist. Die Ionen K, Rb und Cs sind ungefähr gleichmäßig hydratisiert, so daß man ihnen in Hinsicht auf eine Beeinflussung des Quellungszustandes eine gleichartige Wirkung auf die Pflanze zuschreiben könnte. Deutliche Unterschiede sind aber zwischen diesen Elementen hinsichtlich ihrer radioaktiven Strahlung vorhanden.

Das Rubidium zeichnet sich durch eine β-Strahlung aus, die weicher als die des Kaliums, aber dreimal so stark ist, während eine γ-Strahlung bei ihm noch nicht gefunden wurde. Das Caesium weist keine radioaktive Strahlung auf. Falls das Rubidium das Kalium teilweise ersetzen könnte, so würde dies im Sinne der von STOKLASA vertretenen Hypothese liegen, daß die Wirkung des Kaliums mit seiner Radioaktivität zusammenhängt.

Für unseren Versuch ist folgende Fragestellung gewählt worden:

a) Wie werden die Ernteerträge von Hafer und Tabak durch den stufenweisen Ersatz des Kaliums durch Rubidium in einer normalen Volldüngung beeinflußt?

b) In welchem Umfange tritt Rubidium in die Pflanze ein, und wie verändert sich durch diesen Eintritt das Verhältnis zwischen den in der Pflanze vorhandenen Kationen?

Der Versuch wurde nach dem in Tabelle 1 wiedergegebenen Plan durchgeführt.

Vom Verlauf der Vegetationsperiode seien anschließend die wichtigsten Beobachtungen wiedergegeben.

Tabelle 1. Versuchsplan.

Hafer, Orig. v. Lochows Gelbhafer		Tabak	
Reihe	Düngung	Reihe	Düngung
1	ungedüngt	11	ungedüngt
2	NP	12	NP
3	NP 10 mval K	13	NP 20 mval K
4	NP 20 „ K	14	NP 40 „ K
5	NP 30 „ K	15	NP 60 „ K
6	NP 40 „ K	16	NP 40 „ K + 20 mval Rb
7	NP 30 „ K + 10 mval Rb	17	NP 20 „ K + 40 „ Rb
8	NP 20 „ K + 20 „ Rb	18	NP + 60 „ Rb
9	NP 10 „ K + 30 „ Rb		
10	NP + 40 „ Rb		

Versuchskultur: Sand + 1% Torfmull, angewandt 10 kg trocken

Versuchsdüngung: N: 90 mval = 1,26 g N in NH_4NO_3 — 3,0 g $CaCO_3$

P: 45 „ = 1,06 g P_2O_5 in $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ — 1,0 g $MgCO_3$

0,1 g Fe_2O_3

K in K_2SO_4

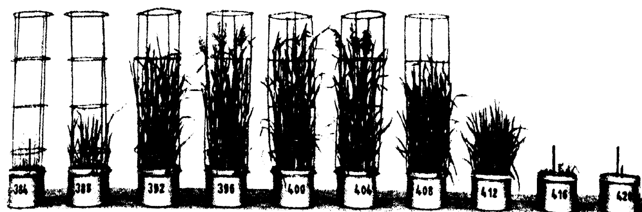
Rb in Rb_2SO_4

Bei dem Haferversuch war beim Auflaufen nach 12 Tagen noch kein Unterschied festzustellen. Nach 19 Tagen zeigten die mit 20, 30 und 40 mval Rb gedüngten Pflanzen eine hellgrüne Farbe, die sich von den übrigen Reihen deutlich abhob. Die ungedüngten und auch die mit NP einseitig gedüngten Pflanzen zeigten gegenüber der NPK-Reihe noch keine Unterschiede. Erst nach weiteren 8 Tagen blieb das Wachstum der Reihe O und NP hinter der Entwicklung der K-Reihen zurück. Die Wirkung des Rb äußerte sich bei der Reihe „30 mval K + 10 mval Rb" gegenüber der Reihe „30 mval K" nur im Farbton, der heller war. Bei den höheren Rb-Gaben war die Färbung der Blätter deutlich gelbstichig, und die Entwicklung dieser Reihen war gegenüber den entsprechenden NPK-Reihen schon leicht geschädigt.

Die Wachstumshemmungen wurden im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode immer mehr verstärkt. Am 39. Tage des Versuches bestockten sich die NPK-Reihen, während die übrigen Reihen in ihrer Entwicklung noch zurückblieben. Der Stand der Reihe „NP 30 mval K + 10 mval Rb" war schlechter als der der Reihe „NP 10 mval K". Bei den höheren Rb-Gaben blieb die Entwicklung trotz der Kalidüngung noch hinter der NP-Reihe zurück.

Die Reihen ohne Düngung und ohne Kali blieben im weiteren Verlauf ebenfalls zurück, während sich die K-Reihen entsprechend der K-Steigerung entwickelten. Die Reihen „30 mval K + 10 mval Rb" und „20 mval K + 20 mval Rb" waren in der Blattfarbe heller als die entsprechenden Reihen ohne Rb. Im Verlauf der weiteren Entwicklung traten bei den Reihen „10 mval K + 30 mval Rb" und „40 mval Rb" anormale Verdickungen und Verdrehungen der schlecht bestockten Pflanzen auf, wie sie auch von BIRNER und LUCANUS (1) und LOEW (2) schon beobachtet wurden.

Am 75. Tage nach der Bestellung schoßten die Reihen mit 20, 30 und 40 mval K. Die Reihe „10 mval K" folgte mit wenigen Tagen Abstand, während die Reihen „30 mval K

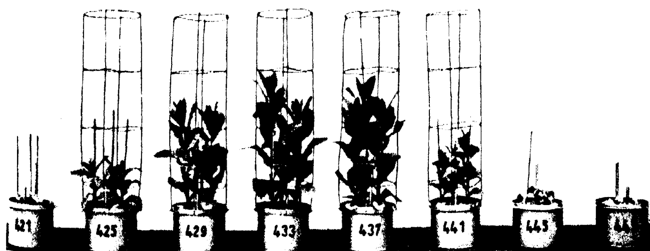


Düngung:									
0	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
	—	10 mval K	20 mval K	30 mval K	40 mval K	30 mval K	20 mval K	10 mval K	—
		—	—	—	—	10 mval Rb	20 mval Rb	30 mval Rb	40 mval Rb

Abb. 79. Gefäßversuche über die Vertretbarkeit des Kaliums durch Rubidium (1932) bei Hafer. — Pot experiments on oats. Investigations on the replacibility of potassium by rubidium.

+ 10 Rb" und „NP" erst 12 Tage später zum spärlichen Schossen kamen. Bei den höheren Rb-Gaben waren zu diesem Zeitpunkt noch keine Anzeichen des Schossens festzustellen.

Diesen Abständen entsprechend verlief die Entwicklung der Blüte und die Ausbildung der Körner. Die Düngung mit höheren K_2O-Gaben führte zu einer besseren Ausbildung der Ähren. Bei den Reihen mit Rb dagegen trat ein vollständiger Stillstand der Vegetation ein. Bei der Reihe „NP 40 mval Rb" starben sogar die Pflanzen ab. Nach 103 Tagen waren die Reihen 20, 30 und 40 mval K reif, 8 Tage später war die Reihe „NP 10 mval K" und



Düngung:							
0	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
	—	20 mval K	40 mval K	60 mval K	40 mval K	20 mval K	—
	—	—	—	—	20 mval Rb	40 mval Rb	60 mval Rb

Abb. 80. Gefäßversuche über die Vertretbarkeit des Kaliums durch Rubidium (1932) bei Tabak. — Pot experiments on tobacco. Investigations on the replacibility of potassium by rubidium.

4 Tage später die Reihen „NP 30 mval K + 10 mval Rb" ebenfalls gereift. Die Reihe „20 mval K + 20 mval Rb" verfärbte sich graugrün und reifte nicht vollständig aus.

In der Tabakserie verlief während der ersten 30 Tage die Entwicklung der Volldüngungsreihen in normaler Weise. Die Reihen O und ohne Kali blieben in ihrer Entwicklung zurück, und die Reihen mit Rubidium fielen wiederum durch ihre hellgrüne Farbe auf.

Gleichzeitig mit der Verfärbung der Rb-Reihen traten Wachstumshemmungen auf, die bei den Reihen „NP 60 mval Rb" und „20 mval K + 40 mval Rb" zu ähnlich den bei Hafer festgestellten anormalen Verdickungen und Linksdrehung der Blattstengel und Blätter führten.

Auf den Blättern der NP-Reihe wurden K-Mangelerscheinungen in Form weißer, bräunlich umrandeter Flecken sichtbar. Im Lauf der Entwicklung traten die Größenunterschiede in der K-Reihe allmählich zurück. Die Blüte begann am 66. Versuchstage bei der Reihe „NP 20 mval K". Die Blüten der Rb-Reihen öffneten sich 12 Tage später, mit Ausnahme der Reihe NP 60 mval Rb, die eingegangen war. Der Versuch wurde nach 76 Tagen abgeerntet, und zwar zu dem Zeitpunkt, an welchem die NPK-Reihe abgeblüht war.

Auf den Abb. 79 und 80 sind sowohl bei Hafer als auch bei Tabak die schädigenden Wirkungen des Rb deutlich zu erkennen.

Tabelle 2. Erntegewichte des Haferversuchs.

Reihe	Düngung	Gesamternte g/Gefäß	Korn g	Stroh g	Korn : Stroh
1	O	1,8 ± 0,17	—		
2	NP	18,2 ± 3,02	6,8 ± 1,88	11,4 ± 1,19	1:1,68
3	NP 10 mval K	90,2 ± 2,62	39,4 ± 1,18	50,8 ± 1,44	1:1,29
4	NP 20 „ K	100,0 ± 2,23	42,9 ± 1,03	57,1 ± 1,91	1:1,33
5	NP 30 „ K	105,1 ± 2,04	46,1 ± 1,22	59,0 ± 1,43	1:1,28
6	NP 40 „ K	105,3 ± 2,80	47,2 ± 1,04	58,1 ± 0,96	1:1,23
7	NP 30 „ K + 10 mval Rb	95,6 ± 1,26	41,6 ± 0,55	54,0 ± 0,98	1:1,30
8	NP 20 „ K + 20 „ Rb	55,5 ± 1,95	10,1 ± 0,67	45,4 ± 1,62	1:4,50
9	NP 10 „ K + 30 „ Rb	4,0 ± 0,12		—	—
10	NP + 40 „ Rb	—	—		—

Wie aus Tabelle 2 hervorgeht, nimmt bei Hafer der Ertrag an Korn und Stroh entsprechend der K-Steigerung zu und das Korn-Stroh-Verhältnis verbessert sich von 1:1,68 bei NP auf 1:1,23 bei „NP 40 mval K". Die Ertragssteigerungen zwischen den einzelnen Reihen bis 30 mval K betragen sämtlich mehr als das $2^1/_2$fache ihrer wahrscheinlichen Schwankung. Durch die Beidüngung von 10 mval Rb zu 30 mval K wird der Ertrag von 105,1 g auf 95,6 g gedrückt. Die Erhöhung der Rb-Gabe auf 20 mval Rb zu 20 mval K verursacht eine Verminderung des Ertrags gegenüber derselben K-Gabe ohne Rb um 45,5% auf 55,5 g. Gegenüber dem Ertrag der Reihe „10 mval K" werden bei Reihe „10 mval K + 30 mval Rb" nur noch 4 g Trockensubstanz, entsprechend 5% des Ertrags der Reihe „10 mval K" produziert. Ferner zeigt sich, daß in den Reihen mit Rb-Düngung besonders die Ausbildung des Korns gestört wurde.

Die chemische Untersuchung von Korn und Stroh (Tabelle 3) erstreckte sich auf die Bestimmung von Rb, K, Na, Ca und Mg. Die Bestimmung des Rb-Gehalts in der Pflanze erfolgte nach der in der Kaliforschungsanstalt ausgearbeiteten Methode. Die Tabelle 3 gibt in Gewichtsprozenten und mval-Prozenten, bezogen auf Trockensubstanz, die Daten der chemischen Untersuchung an.

Tabelle 3. Haferversuch.

Reihe	Hafer Düngung	g Ernte-Gewicht tr.	Asche %	N %	P_2O_5 %	Rb_2O %	K_2O %	Na_2O %	CaO %	MgO %	In 100 g Trockensubstanz: Summe der mval	mval Rb	mval K	mval Na	mval Ca/2	mval Mg/2	Aufgenommen durch die Ernte: insges. mval	mval Rb	mval K	mval Na	mval Ca/2	mval Mg/2	In 100 Teilen der Kationensumme sind Teile: Rb	K	Na	Ca	Mg	Rb + K + Na
	a) Korn																											
2	NP	6,8	2,81	3,21	1,28	—	0,68	0,23	0,23	0,38	48,91	—	14,44	7,42	8,20	18,85	3,33	—	0,98	0,50	0,56	1,28	—	29,52	15,17	16,77	38,54	44,69
3	NP 10 mval K	39,4	2,34	1,78	1,02	—	0,72	0,10	0,24	0,34	43,91	—	15,25	3,23	8,56	16,87	17,30	—	6,00	1,27	3,37	6,65	—	34,73	7,36	19,49	38,42	42,09
4	NP 20 „ K	42,9	2,25	1,77	0,99	—	0,65	0,10	0,25	0,33	42,32	—	13,80	3,23	8,92	16,37	18,16	—	5,92	1,39	3,83	7,02	—	32,61	7,63	21,08	38,68	40,24
5	NP 30 „ K	46,1	2,22	1,74	1,03	—	0,69	0,10	0,22	0,32	41,60	—	14,65	3,23	7,85	15,87	19,18	—	6,75	1,49	3,62	7,32	—	35,22	7,76	18,87	38,15	42,98
6	NP 40 „ K	47,2	2,16	1,55	0,92	—	0,75	0,07	0,20	0,30	40,10	—	15,92	2,26	7,13	14,88	18,97	—	7,51	1,07	3,37	7,02	—	38,66	5,49	17,31	38,54	44,15
7	NP 30 „ K + 10 „ Rb	41,6	2,70	—	—	0,46	0,50	0,03	0,17	0,32	38,31	4,91	10,50	0,97	6,06	15,87	15,94	2,04	4,37	0,40	2,52	6,60	12,82	27,40	2,53	15,82	41,43	42,75
8	NP 20 „ K + 20 „ Rb	10,1	3,29	—	—	1,07	0,26	0,03	0,22	0,33	42,07	11,45	5,43	0,97	7,85	16,37	4,25	1,16	0,55	0,10	0,79	1,65	27,22	12,91	2,30	18,66	38,91	41,41
	b) Stroh																											
2	NP	11,4	5,32	2,10	1,99	—	0,23	0,99	1,20	0,85	121,78	—	4,88	31,94	42,80	42,16	13,88	—	0,56	3,64	4,88	4,81	—	4,0	26,23	35,15	34,62	30,23
3	NP 10 mval K	50,8	2,33	0,38	0,41	—	0,17	0,83	1,00	0,52	91,85	—	3,61	26,78	35,67	25,79	46,66	—	1,83	13,60	18,12	13,10	—	3,92	29,16	38,84	28,08	33,08
4	NP 20 „ K	57,1	3,68	0,37	0,34	—	0,82	0,71	0,82	0,42	90,40	—	17,41	22,91	29,25	20,83	51,62	—	9,94	13,08	16,70	11,89	—	19,26	25,34	32,36	23,04	44,60
5	NP 30 „ K	59,0	4,29	0,26	0,24	—	1,35	0,67	0,72	0,39	95,31	—	28,66	21,62	25,68	19,35	56,23	—	16,91	12,76	15,15	11,42	—	30,08	22,68	26,94	20,30	52,76
6	NP 40 „ K	58,1	4,90	0,34	0,24	—	2,00	0,55	0,71	0,35	102,89	—	42,46	17,74	25,33	17,36	59,78	—	24,67	10,31	14,72	10,09	—	41,27	17,24	24,62	16,87	58,51
7	NP 30 „ K + 10 „ Rb	54,0	7,37	—	—	0,87	1,82	0,40	0,69	0,31	100,74	9,27	38,58	12,90	24,61	15,38	54,40	5,01	20,83	6,97	13,29	8,31	9,20	38,20	12,81	24,43	15,27	60,21
8	NP 20 „ K + 20 „ Rb	45,4	7,15	—	—	1,67	0,75	0,31	0,55	0,30	78,36	17,86	16,0	10,0	19,62	14,88	35,58	8,11	7,26	4,54	8,91	6,76	22,79	20,42	12,76	25,04	18,99	55,97
	c) Ges.-Ernte																											
1	O	1,84	4,22	—	0,53	—	1,26	0,42	0,98	0,69	109,49	—	26,75	13,55	34,96	34,23	1,97	—	0,48	0,24	0,63	0,62	—	24,43	12,38	31,93	31,26	36,81
2	NP	18,2	4,38	2,51	1,72	—	0,40	0,71	0,84	0,67	89,06	—	8,46	22,74	24,40	33,46	17,21	—	1,54	4,14	5,44	6,09	—	9,50	25,53	27,40	37,57	35,03
3	NP 10 mval K	90,2	2,33	0,99	0,68	—	0,41	0,51	0,67	0,44	70,91	—	8,70	16,49	23,82	21,90	63,96	—	7,84	14,87	21,49	19,75	—	12,27	23,25	33,60	30,88	36,52
4	NP 20 „ K	100,0	3,07	0,97	0,62	—	0,75	0,45	0,57	0,38	69,77	—	15,86	14,47	20,53	18,91	69,77	—	15,86	14,47	20,53	18,91	—	22,73	20,74	29,43	27,10	43,44
5	NP 30 „ K	105,1	3,38	0,90	0,59	—	1,06	0,42	0,50	0,36	71,76	—	22,51	13,56	17,86	17,83	75,42	—	23,66	14,25	18,77	18,74	—	31,37	18,90	24,89	24,84	50,27
6	NP 40 „ K	105,3	3,67	0,88	0,54	—	1,44	0,33	0,48	0,33	74,80	—	30,56	10,81	17,18	16,25	78,76	—	32,18	11,38	18,09	17,11	—	40,86	14,45	22,97	21,72	55,31
7	NP 30 „ K + 10 „ Rb	95,6	5,34	—	—	0,69	1,25	0,24	0,46	0,31	73,58	7,37	26,36	7,71	16,54	15,60	70,32	7,05	25,20	7,37	15,81	14,91	10,01	35,82	10,48	22,49	21,20	56,31
8	NP 20 „ K + 20 „ Rb	55,5	6,45	—	—	1,56	0,66	0,26	0,49	0,30	71,75	16,70	14,07	8,36	17,48	15,14	39,82	9,27	7,81	4,64	9,70	8,41	23,26	19,61	11,65	24,36	21,10	54,52
9	NP 10 „ K + 30 „ Rb	4,0	—	—	—	5,16	1,15	0,27	0,73	1,18	172,86	55,21	24,37	8,71	26,04	58,53	6,91	2,21	0,97	0,35	1,04	2,34	31,94	14,10	5,04	15,06	33,86	51,08
10	NP 40 „ Rb	0,0																										

Tabelle 4. Tabakversuch.

Reihe	Düngung	Erntegewicht tr.	Asche	N	P_2O_5	Rb_2O	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	In 100 g Trockensubstanz: Summe der mval	mval Rb	mval K	mval Na	mval Ca/2	mval Mg/2	Aufgenommen durch die Ernte: insg. mval	mval Rb	mval K	mval Na	mval Ca/2	mval Mg/2	In 100 Teilen der Kationensumme sind Teile: Rb	K	Na	Ca	Mg	Rb + K + Na
		g	%	%	%	%	%	%	%	%																		
11	O	0,8	10,11	—	1,75	—	1,29	0,33	3,36	1,46	230,41	—	27,39	10,65	119,85	72,42	1,85	—	0,22	0,09	0,96	0,58	—	11,89	4,62	52,04	31,45	16,51
12	NP	8,8 ± 0,62	10,09	—	1,17	—	0,60	0 23	4,37	1,50	250,44	—	12,74	7,42	155,88	74,40	22,04	—	1,12	0,65	13,72	6,55	—	5,09	2,96	62,24	29,71	8,05
13	NP 20 mval K	38,7 ± 1,25	5,67	1,43	0,87	—	1,61	0,16	1,65	0,56	125,98	—	34,18	5,16	58,86	27,78	48,75	—	13,23	2,00	22,78	10,75	—	27,13	4,10	46,72	22,05	31,23
14	NP 40 „ K	42,6 ± 0,65	7,13	1,30	0,75	—	2,69	0,17	1,51	0,52	142,24	—	57,11	5,48	53,86	25,79	60,59	—	24,33	2,33	22,94	10,99	—	40,15	3,85	37,87	18,13	44,00
15	NP 60 „ K	44,2 ± 0,65	6,77	1,29	0,68	—	3,09	0,16	1,28	0,48	140,24	—	65,61	5,16	45,66	23,81	61,99	—	29,00	2,28	20,18	10,52	—	46,78	3,68	32,56	16,98	50,46
16	NP 40 „ K + 20 „ Rb	24,5 ± 1,10	10,40	—	—	1,88	2,13	0,08	0,97	0,73	138,64	20,06	45,19	2,58	34,60	36,21	33,97	4,91	11,07	0,63	8,48	8,87	14,47	32,60	1,86	24,96	26,12	48,92
17	NP 20 „ K + 40 „ Rb	3,0 ± 0,24	21,56	—	—	8,20	2,80	0,36	1,39	2,19	317,0	87,72	59,46	11,61	49,58	108,63	9,51	2,63	1,78	0,35	1,49	3,26	27,67	18,67	3,66	15,64	34,27	50,00
18	NP 60 „ Rb	1,0	—	—	—	8,24	1,52	—	—	—	—	88,14	32,28	—	—	—	—	0,88	0,32	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen zeigen, daß bei den Körnern der Kationengehalt trotz erhöhter Kationenzufuhr kaum verändert ist. Durch die Aufnahme von Rb wird hauptsächlich K, in geringem Umfang auch Na aus der Korntrockensubstanz verdrängt, wobei jedoch die Summe der Alkalien ziemlich konstant bleibt. Die relativen Anteile von Ca und Mg an der Kationensumme sind geringen Schwankungen ausgesetzt.

Die Untersuchungsbefunde der Strohtrockensubstanz zeigen dagegen deutlich den Einfluß der Düngung. Der Anteil des K in der Asche nimmt mit steigender Kalidüngung stetig zu und verdrängt, da die Summe der Kationen selbst nur wenig verändert wird, dabei die übrigen Kationen.

Die Rb-Aufnahme erfolgt nicht wie bei den Körnern lediglich unter Verdrängung des K, sondern hauptsächlich unter Verdrängung von Na, Ca und Mg. Bei der kleinsten Rb-Gabe in der Reihe „30 mval K + 10 mval Rb“ tritt sogar eine deutliche Erhöhung des K-Gehaltes und damit der absoluten K-Aufnahme ein. Bei der Reihe „20 mval K + 20 mval Rb“ ist der K-Gehalt dagegen nahezu gleich dem der Reihe „20 mval K“.

Der Gesamtkalianteil an den in den einzelnen Reihen festgestellten Kationensummen steigt von 30% auf 60%. Dieser Zunahme entspricht eine gleichmäßige Abnahme des Ca- und Mg-Anteils.

Die Ergebnisse des Tabakversuchs sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Die Erträge an Trockensubstanz nehmen entsprechend der steigenden K-Düngung zu. Durch den Eintritt von Rb in die Pflanze in Reihe „40 mval K + 20 mval Rb" wird der Ertrag um 40% des entsprechenden Ertrags der Reihe „40 mval K" gedrückt und mit der Gabe von 40 mval Rb und 20 mval K wird die Erzeugung von Trockensubstanz beinahe vollständig unterbunden.

Die chemische Untersuchung ergab, wie aus Tabelle 4 weiter hervorgeht, mit steigender Kalidüngung eine Zunahme des K-Gehalts unter gleichzeitiger Abnahme des Gehalts an den übrigen Kationen.

Mit der Aufnahme von Rb in der Reihe „40 mval K + 20 mval Rb" tritt neben der Reduktion des K-, Na- und Ca-Gehalts auch eine Zunahme des Mg-Gehalts ein. Das Verhältnis zwischen Ca und Mg, das bei den Reihen ohne Rb rund 1:0,5 beträgt, steigt bei der Reihe „40 mval K + 20 mval Rb" auf 1:1,05 und ist in der Mangelreihe „20 mval K + 40 mval Rb" sogar gleich 1:2,2.

Die Summe der Kationen nimmt, abgesehen von den hohen Werten der Reihen „O" und „NP", nur bei der Erhöhung der K-Gabe von 20 auf 40 mval zu und bleibt trotz Erhöhung der K- bzw. (K + Rb-) Gabe auf 60 mval in den Reihen „60 mval K" und „40 mval K + 20 mval Rb" unverändert. Der Einfluß der Düngung drückt sich in der Verschiebung des Anteils der einzelnen Kationen aus. Der Anteil des K, der in der O-Reihe 11,89% des Kationengehalts beträgt, wird nach der in der NP-Reihe auftretenden Depression auf 5,09% entsprechend der Erhöhung der K-Gabe größer und geht bei Aufnahme von Rb zurück.

Der Anteil der Alkali-Ionen am Kationengehalt nimmt mit der K-Düngung zu und bleibt bei den höchsten Alkaligaben in den Reihen NP 40 mval Alkali konstant. Der Ca-Anteil fällt entsprechend der K-Düngung und wird durch Rb noch weiter herabgedrückt. Analog dazu fällt auch der Mg-Anteil mit steigender K-Gabe. Dagegen zeigt die Analyse, daß mit der Rb-Düngung der Mg-Anteil am Kationengehalt der Trockensubstanz wieder zunimmt.

Aus den Ergebnissen der beiden Versuchsreihen zu Hafer und Tabak kann geschlossen werden, daß unter den gewählten Bedingungen Rb nicht in der Lage ist, K in seinen ernährungsphysiologischen Funktionen zu ersetzen. Die Differenzen zwischen den Reihen „30 mval K" und „30 mval K + 10 mval Rb" ergeben, daß schon die Anwesenheit von 0,009% Rb_2O in der angewandten Bodenmenge genügt, die Produktion an Trockensubstanz herabzudrücken.

Unsere Analysenergebnisse stellen den Endzustand der Kationenaufnahme dar. Es ist nicht möglich, daraus sichere Rückschlüsse auf die während der Vegetationszeit vorhandenen Kationenverhältnisse zu ziehen, doch bieten die erhaltenen Werte die Möglichkeit, im Zusammenhang mit physiologischen Untersuchungen die Ursachen der Rb-Schädigung etwas genauer als bisher zu erfassen.

22

LUNDEGÅRDH (3) entwickelt für die Kationenaufnahme der Pflanze eine Theorie, bei der die Ionenbeweglichkeit und die Hydratation der Kationen als wesentliche Faktoren der Permeabilität hingestellt werden. Soweit die von LUNDEGÅRDH erwähnten Arbeiten auch Rb in ihren Untersuchungen berücksichtigen, zeigt sich, daß dem Rb eine größere Adsorption — FITTING (4), TRÖNDLE (5) —, eine geringe Hydratation — RIESENFELD und REINHOLD (6) — und nach MICHAELIS (7) eine größere Ionenbeweglichkeit zukommt, als sie unter gleichen Umständen für K bestimmt wurde. Bei den von HÖBER (8) zusammengestellten Fällungseigenschaften der Alkalien in bezug auf organische Kolloide interessiert für den vorliegenden Fall besonders die Feststellung, daß die Ausflockung von Laugeneiweiß durch Alkali-Ionen entsprechend der Reihe Li < Na < K < Rb < Cs zunimmt, und daß diese Reihe entsprechend der Reaktion des Eiweißkolloids einer Umlagerung fähig ist.

Wir fanden in den Reihen, bei denen das Längenwachstum durch Rb behindert wurde und anormale Verdickungen und Verdrehungen stattgefunden hatten, sowohl bei Tabak als auch bei Haferstroh eine größere Rb-Aufnahme als K-Aufnahme. Ferner zeigte sich als Folge der Rb-Düngung bei den Haferreihen eine Behinderung der Fruchtbildung.

Neben dieser Verminderung der K-Aufnahme ist noch die weitere Veränderung des Kationengehalts zu beachten. Während der Ca-Gehalt entsprechend der K- und (K + Rb-) Aufnahme abnimmt, erfährt der Mg-Gehalt, der in der K-Reihe ebenfalls sinkt, wie schon oben bei der Besprechung der einzelnen Analysen erwähnt, bei der Rb-Düngung eine Zunahme. Für das Ca:Mg-Verhältnis errechnen sich bei den K-Reihen des Tabakversuchs durchschnittlich Werte von 1:0,5. Dieser Wert steigt bei der Düngung mit 20 mval Rb auf 1:1,05, bei 40 mval Rb auf 1:2,19

Von HANSTEEN-CRANNER (9) wurde festgestellt, daß die quellende und gelatinierende Wirkung des Mg von Ca nur bis zum Verhältnis Ca : Mg = 1 : 2 behoben wird. Das in den Tabakpflanzen vorliegende Ca : Mg-Verhältnis reicht an diese Grenze heran, und es besteht daher vielleicht die Möglichkeit, daß die infolge der Rb-Aufnahme eingetretene Verschiebung für die Vegetationsstörungen mitverantwortlich ist.

Beim Hafer tritt ein derartiges Ca:Mg-Verhältnis nur in der Reihe „10 mval K + 30 mval Rb“ auf, wo keine Körnerbildung erfolgt war. Bei den übrigen Reihen des Haferversuchs begegnen wir einem derartigen Ca:Mg-Verhältnis nicht mehr.

Das in der Reihe „20 mval K + 20 mval Rb“ festgestellte Korn:Stroh-Verhältnis = 1:4,5 weist zusammen mit den festgestellten stark verschiedenen K- und Rb-Gehalten in Korn und Stroh auf einen weiteren direkten Effekt des Rb hin. Die K-Menge, die gleichzeitig mit Rb in die Pflanze aufgenommen wurde, reichte immerhin noch aus, 79,5% der Strohmenge zu produzieren, die in der Reihe ohne Rb erreicht wurde. Durch die gleichzeitige Aufnahme einer gegenüber K um 10% größeren Rb-Menge wurde der Kornertrag

auf 23,5% des Ertrags der Reihe ohne Rb herabgedrückt. In dieser kleinen Körnerernte wurde ein Rb-Gehalt festgestellt, der zum K-Gehalt in einem ganz anderen Verhältnis steht, als er im Stroh festgestellt und mit der Düngung verabfolgt wurde.

K:Rb-Verhältnis. Reihe „20 mval K + 20 mval Rb":

	In der Düngung	Im Stroh	Im Korn
	K:Rb = 1:1	1:1,12	1:2,11

Bei den Reihen „30 mval K + 10 mval Rb" besteht ebenfalls in den Körnern ein weiteres K:Rb-Verhältnis als im Stroh. Die Samenbildung wurde durch das aufgenommene Rb nicht behindert. Der Rückgang im Kornertrag erfolgte proportional der geringeren Strohernte.



Abb. 81. Einrichtung zur Durchführung von Wasserkulturversuchen.
Apparatus for water culture experiments.

Die Ursachen der schädlichen Wirkung des Rb können auf Grund der aufgeführten Einzelheiten in Störungen der Zellsaftgleichgewichte vermutet werden. Bei kleinen Rb-Mengen zeigt sich die Wirkung nur in einer Verminderung der Ernte, die durch die Störung des Assimilationsprozesses durch Behinderung und Verdrängung des K verursacht sein kann. Soweit der Transport der gebildeten Assimilate in Form entsprechender Alkali- und Erdalkaliverbindungen erfolgt, ist auch das Rb daran beteiligt. Der Anteil des Rb in den Reservespeichern ist größer, als der (K + Rb)-Gabe entspricht. Diese Feststellung entspricht der relativ größeren Beweglichkeit des Rb gegenüber K, wie schon aus den

22*

Beobachtungen von MICHAELIS (7) über die verschiedene Ionenbeweglichkeit hervorgeht.

Größere Rb-Mengen in der Düngung ergeben auch eine größere Aufnahme des Rb in der Pflanze und damit, wie die Tabellen 3 und 4 zeigen, eine Verschiebung der Kationenverhältnisse durch Verdrängung des K und der übrigen Kationen. Nach den Ausführungen von HÖBER (8) über den Einfluß von Neutralsalzen auf den Lösungszustand hydrophiler Kolloide könnte in diesem Falle eine Störung des physiologischen Ionengleichgewichts eingetreten sein. Als Folge dieser Gleichgewichtsstörung könnten dann Ausflockungen und Verstopfungen der Leitungsbahnen angenommen werden, die sich in Verdickungen und Verdrehungen der Blätter und Stengel bemerkbar gemacht haben. Diese Möglichkeit gewinnt durch die von LOEW (10) und ARNDT (1) festgestellte Anhäufung von Stärke und Zucker in den Blättern eine gewisse Wahrscheinlichkeit.

Die Wirkung von Caesium auf das Pflanzenwachstum wurde von uns in Wasserkulturen mit Mais geprüft. Zum Vergleiche wurden dabei im Anschluß an unsere Sandversuche mit Rubidium auch Gefäße vorgesehen, in denen die den Caesiumgaben entsprechenden Rubidiumgaben verabreicht wurden.

Den Versuchen wurde folgender Versuchsplan zugrunde gelegt (Tabelle 5):

Tabelle 5. Plan des Maisversuchs.

Reihe	Düngung	Reihe	Düngung
1	Nährlösung ohne K	13	Nährlösung + 1/4 K + 3/4 Rb
2	„ + 1/4 K	14	„ + 1/2 K + 1/2 Rb
3	„ + 1/2 K	15	„ + 3/4 K + 1/4 Rb
4	„ + 3/4 K	16	„ + 1/4 Cs
5	„ + 1 K	17	„ + 1/2 Cs
6	„ + 2 K	18	„ + 3/4 Cs
7	„ + 5 K	19	„ + 1 Cs
8	„ + 10 K	20	„ + 1/4 K + 3/4 Cs
9	„ + 1/4 Rb	21	„ + 1/2 K + 1/2 Cs
10	„ + 1/2 Rb	22	„ + 3/4 K + 1/4 Cs
11	„ + 3/4 Rb		
12	„ + 1 Rb		

In 1000 ccm:

Nährlösung: 12 mval N in 0,985 g $Ca(NO_3)_2$ K = 1 mval K in K_2SO_4
6 „ P in 0,252 g $CaH_4(PO_4)_2 \cdot H_2O$ Rb = 1 „ Rb in Rb_2SO_4
1 „ Mg in 0,123 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ Cs = 1 „ Cs in Cs_2SO_4
0,5 „ Fe in 0,033 g $Fe_2(SO_4)_3$

Schon 3 Tage nach dem Einpflanzen der 10 Tage alten Maispflanzen in die Nährlösungen zeigte sich, daß die Wurzeln in den Lösungen ohne K sich mit Härchen bedeckten und kurz und gedrungen blieben, während mit K die Wurzeln sich unbehaart in die Länge entwickelten. In den Lösungen mit Rb und Cs traten außer der Behaarung auch schon Krümmungen der Wurzeln auf, die in den gemischten Reihen (K + Rb) und (K + Cs) entsprechend der K-Düngung abnahmen. Das Sproßwachstum war von Anfang an durch Cs stark geschädigt, nach 6 Tagen begannen sämtliche Cs- und (K + Cs)-Reihen einzugehen. Die Rb-Lösungen hatten dagegen einen schwächeren Einfluß. Nach 10 Tagen begann eine weitere Deformation durch Loslösen der Blattscheiden vom Stengel. Gegenüber der Entwicklung der K-Reihe blieb auch die Entwicklung der Rb-Reihen stark zurück, der Einfluß des Rb in den (K + Rb)-Reihen trat zunehmend hervor.

Da sich durch das rasche Absterben der Cs- und (K + Cs)-Reihen gezeigt hat, daß die gewählten Konzentrationen für Cs zu hoch lagen, um die letale Gabe festzustellen, wurden nochmals neue Cs-Reihen mit den Konzentrationen $^1/_{10}$, $^1/_{100}$, $^1/_{250}$ mval Cs und dieselbe Abstufung + $^1/_4$ mval K angesetzt. Gleichzeitig wurde in den ersten Lösungen der Reihen „$^1/_4$ mval Cs“ und „1 mval (K + Cs)“ nochmals je eine Pflanze eingesetzt.

Während die Entwicklung der K-Reihen und mit entsprechendem Abstand die Entwicklung der (K + Rb)-Reihen ohne weitere Störung verlief, traten auch bei dem zweiten Ansatz der (K + Cs)-Reihen die gleichen Erscheinungen wie beim ersten Ansatz auf.

Mit der Abnahme des Cs-Gehalts verringern sich auch die Wachstumshemmungen. Die Zeitdifferenz beträgt, vom Einsetzen der Pflanzen gerechnet, bei $^1/_4$ mval Cs und höher 3 Tage, bei $^1/_{10}$ mval Cs 6 Tage, bei $^1/_4$ mval K + $^1/_{10}$ mval Cs 8 Tage, bei $^1/_{100}$ mval Cs 12 Tage und bei der Reihe $^1/_{250}$ mval Cs 15 Tage.

Tabelle 6.

Düngung	Vegetationsdauer	Erntegewicht trocken 105° g	Düngung	Vegetationsdauer	Erntegewicht trocken 105° g
NP	49 Tage	0,228	NP + $^1/_{250}$ mval Cs	33 Tage	0,211
NP + $^1/_4$ mval K	49 ,,	0,634	NP + $^1/_{100}$,, Cs	22 ,,	0,130
NP + $^1/_2$,, K	49 ,,	0,700	NP + $^1/_{10}$,, Cs	17 ,,	0,120
NP + $^3/_4$,, K	49 ,,	0,630	NP + $^1/_4$ K + $^1/_{250}$ Cs	33 ,,	0,337
NP + 1 ,, K	49 ,,	0,858	NP + $^1/_4$ K + $^1/_{100}$ Cs	33 ,,	0,360
NP + 5 ,, K	49 ,,	0,775	NP + $^1/_4$ K + $^1/_{10}$ Cs	17 ,,	0,199
NP + 10 ,, K	49 ,,	0,843	NP + $^3/_4$ K + $^1/_4$ Rb	49 ,,	0,552
NP + $^1/_4$,, Rb	33 ,,	0,240	NP + $^1/_2$ K + $^1/_2$ Rb	49 ,,	0,529
NP + $^1/_2$,, Rb	33 ,,	0,197	NP + $^1/_4$ K + $^3/_4$ Rb	49 ,,	0,357
NP + $^3/_4$,, Rb	33 ,,	0,226	NP + $^3/_4$ K + $^1/_4$ Cs	8 ,,	0,230
NP + 1 ,, Rb	33 ,,	0,150		16 ,,	0,282
NP + $^1/_4$,, Cs	8 ,,	0,233	NP + $^1/_2$ K + $^1/_2$ Cs	8 ,,	0,206
	17 ,,	0,161		16 ,,	0,206
NP + $^1/_2$,, Cs	8 ,,	0,291	NP + $^1/_4$ K + $^3/_4$ Cs	8 ,,	0,278
NP + $^3/_4$,, Cs	8 ,,	0,202		16 ,,	0,183
NP + 1 ,, Cs	8 ,,	0,221			

Die Trockengewichte der einzelnen Reihen sind in Tabelle 6 zusammengestellt. Aus ihnen geht hervor, daß durch die Düngung mit Rb und Cs keine Bildung von Trockensubstanz stattfindet. In den gemischten Reihen (K + Rb) und (K + Cs) treten gegenüber den K-Reihen Ertragsdepressionen ein, die bei Cs-Düngung größer sind als bei Rb-Düngung.

Im Habitus der Cs-Pflanzen zeigten sich dieselben Erscheinungen, wie sie von BIRNER und LUCANUS (2) schon beschrieben wurden. Die Wurzeln krümmten sich und waren mit einem schleimigen Belag, der in den Wurzelhärchen hängt, bedeckt. Die Sprosse verfärben sich graugrün und gehen nach kurzer Zeit ein.

Die unterste Grenze der schädlichen Cs-Konzentration scheint bei $^1/_{250}$ mval Cs pro 1 l noch nicht erreicht zu sein. Nach den Beobachtungen treten allerdings bis zu dieser Konzentration die Störungen erst verhältnismäßig spät auf. Im Vergleich mit den durch Rb hervorgerufenen Schädigungen ist dem Cs ein wesentlich stärkerer Einfluß auf die Faktoren, die für das pflanzliche Leben von Bedeutung sind, zuzusprechen.

Auch hinsichtlich des Cs ergaben die Versuche, daß K nicht durch Cs ersetzt werden kann. Die in den Wasserkulturen festgestellte größere Schädlichkeit des Cs gegenüber Rb entspricht der schon erwähnten, von HÖBER aufgestellten, lyotropen Reihe $Li < Na < K < Rb < Cs$, bei der das Cs die stärksten fällenden Eigenschaften für Laugeneiweiß gegenüber den anderen Alkalien aufweist. Es ist wahrscheinlich, daß in diesen spezifischen Eigenschaften die schädigende Wirkung von Cs wie auch von Rb zu suchen ist.

Literatur.

1. ARNDT, J., Ernährung d. Pflanze Bd. 18, S. 177 (1922).
2. BIRNER u. LUCANUS, Landw. Versuchst. Bd. 8, S. 128.
3. LUNDEGÅRDH, Die Nährstoffaufnahme der Pflanze S. 225ff. (1932).
4. FITTING, Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 56, S. 1 (1915).
5. TRÖNDLE, A., Arch. sc. phys. et nat. (4me Pré.) Bd. 45, S. 38, 117 (1918).
6. WIEGNER, G., Ergänzungsband d. Kolloidzeitschrift Bd. 36, S. 345.
7. MICHAELIS, L., Naturwisschensch. Bd. 14, S. 33 (1926).
8. HÖBER, R., Phys. Chemie d. Zelle u. Gewebe, 6. Aufl., S. 233.
9. HANSTEEN-CRANNER, Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 47, S. 288.
10. LOEW, Landw. Versuchst. Bd. 21, S. 390 (1878).

b) Aluminium.

Bei früheren Untersuchungen von M. TRÉNEL (1) über die physiologische Bedeutung der mineralischen Bodenazidität hatte sich die

Wahrscheinlichkeit ergeben, daß von den Zerfallprodukten des sauren Mineralbodens nur die Tonerde das Wachstum von Hafer schädigt, die bei mineralischer Düngung als „ausgetauschtes“ Aluminium löslich wird. Die primären Zerfallprodukte selbst, insbesondere Tonerdehydratgel, wirkten in Gefäßversuchen mit Sand infolge ihrer Adsorp-

Tabelle 1. Isotonische Reihe.

Gegeben mval/l		Ernte in g			Nährstoffaufnahme in mg					
Al'''	Ca''	Gesamt	Wurzel	Sprosse	N	P_2O_5	SO_4	K_2O	CaO	MgO
0	10	11,75	1,60	10,15	—	81,0	131,7	314,4	54,2	28,1
		14,29	2,29	12,00	154,3	89,6	169,0	382,4	72,1	39,8
		m 13,02	1,94	11,08						
0,1	9,99	13,40	2,13	11,27	—	88,7	151,4	445,9	75,2	33,8
		12,27	1,99	10,28	118,0	81,1	178,0	369,7	59,9	37,7
		m 12,83	2,06	10,77						
0,05	9,95	12,28	1,94	10,34	—	85,2	165,5	371,6	65,1	35,0
		13,24	1,99	11,25	141,5	85,6	141,5	379,1	50,5	25,9
		m 12,76	1,96	10,08						
0,1	9,9	12,84	2,07	10,77	—	86,9	162,3	391,3	61,7	37,8
		11,20	1,43	9,77	117,6	85,8	119,5	353,0	59,8	38,5
		m 12,02	1,75	10,27						
0,5	9,5	13,06	2,24	10,82	—	84,7	133,5	349,1	62,6	24,8
		13,09	1,93	11,16	123,7	78,0	119,7	323,0	62,3	25,3
		m 13,07	2,08	10,99						
1,0	9,0	14,42	2,22	12,20	128,4	78,6	128,7	350,1	54,7	24,4
		12,47	2,12	10,35	—	80,7	116,8	417,0	54,7	18,7
		m 13,44	2,17	11,27						
2,0	8,0	7,02	1,12	5,90	99,0	66,2	83,6	305,5	46,0	9,1
		9,97	1,57	8,40	103,7	75,8	103,8	319,3	45,2	19,5
		m 8,50	1,35	7,15						
5,0	5,0	2,37	0,57	1,80	40,3	38,3	34,3	129,4	14,7	3,1
		1,75	0,50	1,25	34,7	25,6	24,4	80,8	17,2	3,9
		m 2,06	0,54	1,52						
7,5	2,5	2,27	0,77	1,50	37,2	34,3	33,0	115,6	20,8	2,7
		3,64	1,03	2,61	48,8	41,3	38,6	150,1	14,1	4,1
		m 2,96	0,90	2,06						
10	1,0	2,52	0,77	1,75	46,9	36,7	36,4	139,3	20,1	4,1
		2,31	1,47	0,84	47,9	38,6	41,9	139,7	20,8	4,7
		m 2,41	0,80	1,61						

tionsfähigkeit günstig auf den Kornertrag von Hafer ein. Die Versuche ergaben ferner, daß zwar zweifellos die durch Düngung zugeführte Phosphorsäure sowohl durch Aluminiumion als auch durch Tonerdehydrat festgelegt wird, die Aufnahme der P_2O_5 wurde jedoch nicht so weit herabgesetzt, um die Wachstumsschädigung auf physiologischen P-Mangel zurückführen zu können. Da die Bedeutung der Al-Aufnahme für das Wachstum bei den früheren Untersuchungen



10	9,99	9,95	9,9	9,5	9,0	8,0	5,0	2,5	1,0 mval Ca
0	0,01	0,05	0,1	0,5	1,0	2,0	5,0	7,5	10,0 mval Al

Abb. 82. Wasserkulturversuche zu Mais. Isotonischer Ersatz von Calcium durch Aluminium. — Water culture experiments on maize. Progressive substitution of calcium by aluminium.

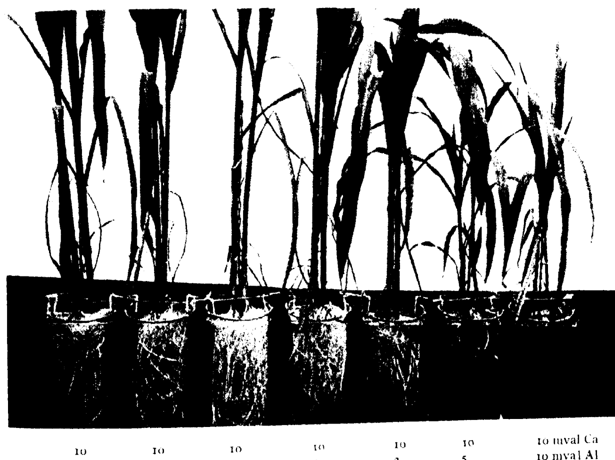
noch nicht eindeutig geklärt werden konnte, wurden in Gemeinschaft mit Herrn Prof. Dr. TRÉNEL diese Versuche in Wasserkulturen wiederholt.

In einer isotonischen Reihe wurde Ca in der Form von 10 mval $CaSO_4$ je Liter durch steigende Mengen von 0,0, 0,01, 0,05, 0,1, 0,5, 1,0, 2,0, 5,0, 10,0 mval Al in der Form von $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18\,H_2O$ ersetzt. In einer zweiten Reihe wurden diese gestaffelten Al-Gaben zu einer konstant gehaltenen Gipsgabe von 10 mval zugesetzt. Eine dritte Reihe erhielt Al erst nachträglich, nachdem die Pflanzen sich 16 Tage normal entwickelt hatten.

In allen Reihen zeigten sich die Pflanzen durch steigende Aluminiumgaben zunehmend im Wachstum geschädigt, ganz besonders in der Ausbildung der Wurzel. Der Vergleich der Abb. 82 mit der Abb. 83 ergibt, daß die isotonische Reihe sich nicht von der Reihe,

in der das Calcium konstant gehalten wurde, unterscheidet. Es konnte gleichzeitig gezeigt werden, daß Ca-Zusatz nicht die Al-Schäden unterbindet. In beiden Reihen wurde die Schädigung zuerst in der Wurzelentwicklung bei einer Konzentration von 1 mval dem Auge wahrnehmbar, ohne daß die Sprosse irgendwelche Schädigungen erkennen ließen und ohne daß dieses in der Trockensubstanz der Wurzel gewichtsmäßig zum Ausdruck kam. Gaben kleiner als 9 mg Al im Liter erschienen in jeder Beziehung wirkungslos.

Wurde das Aluminium nachträglich gegeben, so zeigten die Pflanzen 3—4 Tage nach



10	10	10	10	10	10	10 mval Ca
0	0,1	0,5	1	2	5	10 mval Al

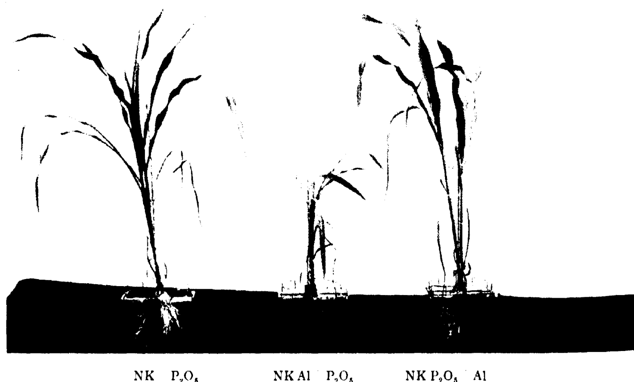
Abb. 83. Wasserkulturversuche zu Mais mit steigendem Al-Zusatz bei gleichbleibendem Ca-Gehalt der Nährlösung. — Water culture experiments on maize. Increased applications of aluminium. Constant applications of calcium.

der Zugabe des Al die ersten Anzeichen einer Schädigung. Die Schädigung im Wachstum und Ertrag war erheblich geringer und trat auch erst bei höheren Aluminiumgaben in Erscheinung. An der Wurzel dagegen trat sie für das Auge wahrnehmbar bei 2 mval und gewichtsmäßig in der Ernte erst bei 5 mval auf.

Zur Prüfung der Wirkung von Tonerdehydrat wurde die erste Reihe unter Zusatz von etwa 5 g Al_2O_3 je Liter Nährlösung wiederholt. Bei den in Wasserkultur durchgeführten Versuchen traten dabei im Gegensatz zu Versuchen im Sand-Torf-Gemisch stärkste Wachstumshemmungen ein. Die Pflanzen kümmerten, die Blätter färbten sich tief rotbraun wie bei P-Mangel. Die Nährstoffanalyse zeigte, daß tatsächlich starker P-Mangel in Wurzeln, Stengeln und Blättern vorliegt (s. Tabelle 4). Die Wurzel ist also in Nährlösungen nicht imstande, die durch suspendiertes Tonerdehydrat ausgefällte Phosphorsäure aufzuschließen wie im Sand-Torf-Gemisch.

Um die Frage nach der spezifischen Wirkung des Al-Ions zu beantworten, wurden die Wurzeln von vorgezogenen jungen Maispflanzen geteilt und getrennt auf der einen Seite mit Stickstoff, Kali und Calcium und auf der anderen Seite mit Calcium und Phosphorsäure — in beiden Fällen im stark sauren Medium — ernährt. Das Al-Salz wurde der NK-Nährlösung zugesetzt unter Einhaltung der Isotonie, wie bei Reihe I beschrieben. Außerdem wurde in einer besonderen Reihe ein Wurzelstrang normal ernährt, während der andere in eine Aluminiumsulfatlösung mit der höchsten hier gegebenen Al-Gabe eintauchte.

In der Reihe mit getrennter Ernährung wurden nahezu die gleichen Mengen Trockensubstanz geerntet wie bei den zu gleicher Zeit



NK P_2O_5 NK Al P_2O_5 NK P_2O_5 Al

Abb. 84. Wasserkulturversuche zu Mais mit getrennter Nährlösung.
Water culture experiments on maize in a divided cell, using different nutrient solutions

gezogenen, normal ernährten Pflanzen. Die Schädigung trat hier bereits bei einer Konzentration von 0,5 mval im Liter in Erscheinung, wiederum in der Wurzel stärker als in den Sprossen, wie die Abb. 84 bis 86 zeigen. Bei der Konzentration von 1 mval wirkte sich die Schädigung auch gewichtsmäßig in der Trockensubstanz aus.

Der Wurzelzweig, der lediglich mit P_2O_5 ernährt wurde, entwickelte sich trotz der bereits eingetretenen Schädigung des anderen Wurzelzweiges zunächst normal, er wurde erst bei starker Allgemeinschädigung der Pflanze durch $Al^{\cdots}$ in der Entwicklung gehemmt. Die Reaktion der NK-Nährlösungen ist zu Beginn in allen Gefäßen dieser Versuchsreihe die gleiche (p_H 3,4). Das Wachstum hängt also hier nur von der

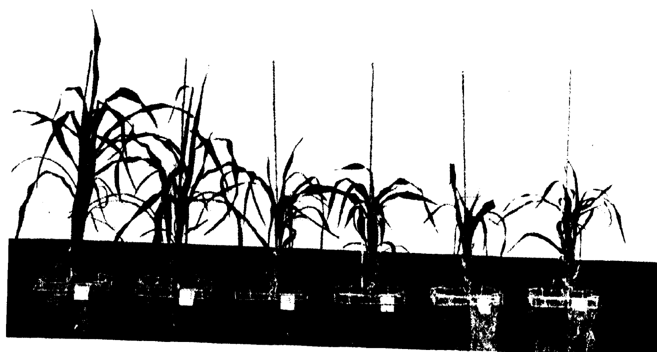


Abb. 85. Wasserkulturversuche zu Mais in getrennter Nährlösung. Links: NK mit steigenden Mengen Al, rechts: P. — Water culture experiments on maize in a divided cell using different nutrient solutions. Left: NK + increasing applications of Al, right: P.

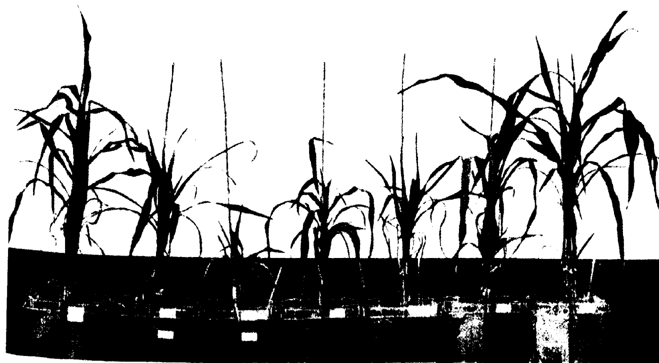


Abb. 86. Wasserkulturversuche zu Mais in getrennter Nährlösung. Links: NK, rechts: P + steigende Mengen Al. — Water culture experiments on maize in a divided cell using different nutrient solutions. Left: NK, right: P + increasing applications of Al.

Konzentration des Aluminiums ab, nicht aber von der Wasserstoffionenkonzentration. Es kann mithin an der spezifischen Giftwirkung des Aluminiums nicht mehr gezweifelt werden. Die saure Reaktion hat nur insofern Bedeutung, als sie die Existenz der Aluminiumionen bedingt.

Tabelle 2. Reihe mit konstantem Ca-Gehalt.

Gegeben mval/l		Ernte in g			Nährstoffaufnahme in mg					
$Al^{\cdots}$	$Ca^{\cdot\cdot}$	Gesamt	Wurzel	Sprosse	N	P_2O_5	SO_4	K_2O	CaO	MgO
0,1	10	12,82	2,06	10,06	129,7	76,9	129,7	350,8	55,7	26,1
		12,85	1,85	11,00	131,1	80,4	117,7	323,6	53,9	22,9
		m 12,84	1,95	10,53						
0,5	10	13,48	2,34	11,14	130,1	80,9	145,7	314,0	61,0	25,4
		12,99	1,79	11,20	145,5	84,9	135,1	266,6	67,0	20,5
		m 13,23	2,06	11,17						
1,0	10	11,91	2,06	9,85	125,7	61,6	100,8	254,4	57,7	19,7
		12,90	1,90	11,00	125,1	70,3	114,8	295,9	52,0	22,2
		m 12,41	1,98	10,43						
2,0	10	7,07	1,07	6,00	94,7	63,7	94,7	416,0	29,7	11,0
		9,68	1,36	8,32	89,1	80,3	79,1	383,0	60,9	17,5
		m 8,37	1,21	7,16						
5,0	10	3,85	0,90	2,95	53,9	36,5	30,0	167,2	29,7	6,8
		2,47	0,62	1,85	38,3	47,4	39,1	168,5	30,3	7,4
		m 3,16	0,76	2,40						
10,0	10	2,55	0,65	1,95	41,8	33,5	36,2	89,3	23,8	3,1
		1,13	0,32	0,81	28,6	20,4	23,9	67,3	31,7	6,7
		m 1,84	0,48	1,38						

Wurde dem einen Wurzelstamm nur Aluminium geboten, so starb er völlig ab. Hierdurch wurde aber der andere Wurzelstamm und auch die Pflanze nicht geschädigt.

Um die Frage nach dem Einfluß des Al-Ions auf die P-Ernährung der Pflanze zu klären, wurde auch den P-Lösungen Aluminiumsalz zugesetzt, und zwar beginnend mit der Konzentration, bei der die Schädigung gerade eintrat (0,1 mval $Al^{\cdots}$). Außerdem wurde die Wirkung des Tonerdehydrats sowohl in der NK- als auch in der P-Lösung geprüft.

Die stärkste Schädigung tritt naturgemäß ein, wenn beide Wurzelstränge, sei es durch Aluminium, sei es durch Tonerdehydrat, oder durch beides gleichzeitig geschädigt werden. Auch in dieser Reihe erweist sich das Aluminium als reines Wurzelgift.

Die Analysenergebnisse enthalten die Tabellen 1—3.

Der relative Nährstoffgehalt der Trockensubstanz nimmt, mit Ausnahme der Magnesia, in allen Versuchsreihen zu, was dadurch zu erklären ist, daß die Assimilation stärker gestört wird als die Aufnahme der Nährstoffe. Die P_2O_5-Aufnahme bleibt bei den niedrigen Al-Gaben die gleiche, ob die Phosphorsäure getrennt oder gemeinsam mit Aluminium zugeführt wird. Bei den hohen Aluminiumgaben nimmt der relative P_2O_5-Gehalt in den getrennt ernährten Pflanzen stärker zu als in den normal ernährten, entsprechend der stärkeren Hemmung der Assimilation bei getrennter Ernährung. Die Ausnutzung der gegebenen Phosphorsäure ist hoch. Sie wird durch bereits toxische Al-Gaben nur gering beeinflußt und geht erst stärker herunter, wenn die Pflanzen außerordentlich geschädigt sind. Da auch die stark geschädigten Pflanzen ausreichend Nährstoffe aufgenommen haben, ist es unwahrscheinlich, daß physiologischer Nährstoffmangel vorliegt. Die Ausnahme, die bei Magnesia beobachtet wird, kann als ein weiterer Hinweis dafür gewertet werden, daß primär Assimilationsstörungen vorliegen. Der Ca-Gehalt der Trockensubstanz ist durch die verschiedenen Ca-Gaben nicht beeinflußt worden.

Tabelle 3. Reihe mit getrennter P_2O_5-Ernährung.

Gegeben mval/l links NK	Gegeben mval/l rechts P_2O_5		Ernte in g Gesamt	Ernte in g Wurzel	Ernte in g Sprosse	Nährstoffaufnahme in mg N	P_2O_5	SO_4	K_2O	CaO	MgO
0,0 Al 10,0 Ca	P_2O_5		11,22	2,30	8,92	—	58,8	93,9	258,7	65,7	21,8
			10,80	1,45	9,35	—	58,1	91,7	249,4	66,9	16,4
			7,80	1,53	6,27	100,6	58,6	71,1	242,2	54,7	25,5
		m	9,94	1,76	8,18						
0,01 Al 9,99 Ca	P_2O_5		13,32	2,05	11,27	95,6	49,4	106,1	231,9	64,3	26,4
			11,66	2,00	9,66	—	63,3	90,7	253,9	58,8	20,8
		m	12,49	2,02	10,47						
0,1 Al 9,9 Ca	P_2O_5		12,10	2,05	10,05	123,4	61,7	96,0	227,4	61,1	20,5
			11,29	2,02	9,27	134,4	67,5	88,6	256,0	66,8	17,9
		m	11,69	2,03	9,66						
0,5 Al 9,5 Ca	P_2O_5		9,52	1,80	7,72	131,4	67,5	88,3	237,6	59,5	11,7
			11,54	1,67	9,87	138,5	65,6	83,0	255,3	63,9	9,6
		m	10,53	1,73	8,80						
1,0 Al 9,0 Ca	P_2O_5		4,78	1,03	3,75	72,2	47,0	36,8	212,9	50,7	6,7
			4,25	1,00	3,25	79,9	49,6	50,8	173,6	52,2	8,2
		m	4,51	1,01	3,50						
5,0 Al 5,0 Ca	P_2O_5		3,47	0,75	2,72	65,6	55,9	35,9	216,0	29,7	3,4
			3,52	1,00	2,52	-	57,2	28,6	92,1	36,2	5,2
		m	3,49	0,87	2,62						
10,0 Al 0 Ca	P_2O_5		2,40	0,60	1,80	—	42,0	16,3	104,5	19,3	5,8
			1,70	0,50	1,20	34,9	38,4	13,9	63,7	22,1	5,4
		m	2,05	0,55	1,50						
NPK	10 Al		10,00	1,75	8,25	—	53,3	61,0	294,0	45,9	15,3
			8,80	1,30	7,50	107,4	63,5	93,0	272,2	40,1	5,7
		m	9,40	1,52	7,88						

Tabelle 4. Al- und P_2O_5-Aufnahme bei normaler Ernährung.

Gegeben mval/l	In Wurzeln		In Stengeln		In Blättern	
	mg Al	mg P_2O_5	mg Al	mg P_2O_5	mg Al	mg P_2O_5
a) Ohne $Al(OH)_3$						
1. —	0,28	18,8	0,18	27,8	0,22	26,9
2. + 0,1 $Al^{\cdots}$	0,45	20,0	0,20	31,8	0,18	27,8
3. + 0,5 $Al^{\cdots}$	1,45	17,6	0,47	25,1	0,15	17,3
4. + 1,0 $Al^{\cdots}$	5,58	35,8	0,89	19,1	0,27	18,5
5. + 2,0 $Al^{\cdots}$	8,74	30,2	0,73	11,3	0,41	20,0
b) Mit $Al(OH)_3$						
6. —	3,02	2,14	0,46	3,70	0,23	1,51
7. + 0,1 $Al^{\cdots}$	2,76	1,77	0,38	2,46	0,24	1,98
8. + 0,5 $Al^{\cdots}$	4,14	1,50	1,13	2,99	0,19	1,36
9. + 1,0 $Al^{\cdots}$	3,16	0,91	0,36	1,16	0,33	0,94
10. + 2,0 $Al^{\cdots}$	3,29	1,26	0,42	1,17	0,15	1,22

Tabelle 4 und 5 enthalten die Ergebnisse der Aluminium- und Phosphorsäurebestimmungen in verschiedenen Pflanzenteilen. Bereits die gesunden Pflanzen enthalten Spuren von Aluminium in der Größenordnung von 0,06—0,28 mg. In der Reihe mit normaler Ernährung ist der Aluminiumgehalt der Stengel der geschädigten Pflanzen etwas höher als in den gesunden Pflanzen. In der Reihe mit getrennter Ernährung ist keine Mehraufnahme an $Al^{\cdots}$ eingetreten.

Tabelle 5. Al- und P_2O_5-Aufnahme bei getrennter Ernährung.

	Gegeben mval/l		In Stengeln		In Blättern	
	Links NK	Rechts P	mg Al	mg P_2O_5	mg Al	mg P_2O_5
	a) Ohne $Al(OH)_3$					
11.	—	—	0,07	27,29	0,05	16,25
12.	+ 0,1 $Al^{\cdots}$	—	0,03	42,86	0,15	16,43
13.	+ 1,0 $Al^{\cdots}$	—	0,03	30,69	0,07	28,70
	b) Mit $Al(OH)_3$					
14.	—	—	0,21	9,25	0,14	8,52
15.	+ 0,1 $Al^{\cdots}$	—	0,01	15,95	0,10	31,59
16.	+ 1,0 $Al^{\cdots}$	—	0,02	21,18	0,06	39,42
17.	—	+ $Al(OH)_3$	0,07	1,92	0,09	2,70
18.	+ 2,0 $Al^{\cdots}$	+ $Al(OH)_3$	0,06	2,55	0,12	2,79
19.	—	+ 2,0 $Al^{\cdots}$	0,10	5,46	0,06	4,83
20.	—	+ 2,0 $Al^{\cdots}$ + $Al(OH)_3$	0,02	0,82	0,07	1,40
21.	NPK	+ 2,0 $Al^{\cdots}$ ohne P	0,11	23,27	0,10	14,00
22.	NPK	+ 2,0 $Al^{\cdots}$ + $Al(OH)_3$ ohne P	0,09	14,25	0,08	8,56

In den Blättern ist der Aluminiumgehalt in allen Fällen innerhalb der Versuchsfehler gleich. Nur in der Wurzel steigt der Aluminiumgehalt mit steigenden Aluminiumgaben und entsprechender Schädigung an. Es wird also sehr wahrscheinlich $Al^{\cdot\cdot\cdot}$ in der Pflanze nicht weitergeleitet, sondern bleibt auf oder in der Wurzel haften. In den Wurzeln wird mit steigendem Aluminiumgehalt die Phosphorsäure angereichert, während in den Stengeln der P_2O_5-Gehalt nur wenig und in den Blättern nicht beeinflußt wird. Bei getrennter Ernährung verläuft die P_2O_5-Aufnahme trotz starker Schädigung der Pflanze normal. Dieser Befund ist ein weiterer Hinweis dafür, daß das Aluminium nicht weitergeleitet wird, und daß die eingetretene Schädigung nicht physiologisch mit der Phosphorsäureaufnahme zusammenhängt.

Literatur.

1. TRÉNEL, M. u. F. ALTEN, Die physiologische Bedeutung der mineralischen Bodenazidität. Zeitschr. f. angew. Chem. Bd. 47, S. 813 (1934) und Erg. d. Agrikulturchemie Bd. 3, S. 54 (1934).

c) Germanium.

Von W. GEILMANN und K. BRÜNGER (1) war im Verfolg einer Mitteilung von V. M. GOLDSCHMIDT über das Vorkommen von Germanium in Kohlen und deren Aschen, die einen Gehalt von 0,0005 bis 0,001 % aufwiesen, festgestellt worden, daß Keimpflanzen von Gerste und Hafer befähigt sind, Germanium aus einem Sandboden aufzunehmen, wenn diesem Germaniumdioxyd zugesetzt ist. Es zeigte sich dabei, daß geringe Germaniumgehalte günstig wirkten, größere dagegen die Pflanzen zum Absterben brachten.

In Gemeinschaft mit W. GEILMANN und K. BRÜNGER (2) setzten wir diese Untersuchungen fort, um durch Vegetationsversuche in Sandkulturen den Einfluß des Germaniums nicht nur im ersten Vegetationsstadium, sondern während der gesamten Vegetationsdauer zu verfolgen.

Als Grunddüngung wurde je Gefäß gegeben: 1,5 g K_2O, 0,8 g N, 0,8 g P_2O_5, 3,0 g $CaCO_3$, 1,0 g $MgSO_4 \cdot 7\,H_2O$ und 0,1 g $Fe(OH)_3$ in wäßriger Suspension. Eingeführt wurden Kali als K_2SO_4, Stickstoff als NH_4NO_3 und Phosphorsäure als $CaHPO_4 \cdot 2\,H_2O$. Zur Differenzdüngung wurde reinstes Germaniumdioxyd benutzt und seine Menge so bemessen, daß auf 1 kg Boden 0,1, 0,5, 1,0, 5,0 und 10,0 mg GeO_2 kamen. Als Versuchspflanzen wurden Hafer, Senf und Buchweizen gewählt.

a) *Versuch mit Hafer.* Die Saat lief gleichmäßig auf allen Töpfen auf und wurde auf 12 Pflanzen pro Topf beschränkt. Größere Unterschiede machten sich in der ersten Vege-

tationszeit nicht bemerkbar. Am 32. Tage zeigte sich auf den Gefäßen mit 5 und 10 mg GeO_2 pro 1 kg Boden Schädigung an der helleren Blattfarbe. Die Rispenbildung am 60. Tage ließ deutliche Unterschiede erkennen. Sie erfolgte am schnellsten auf den Töpfen mit 0,5 und 1 mg GeO_2 pro 1 kg Boden; dagegen blieben etwas zurück die GeO_2-freien Gefäße und die mit 0,1 mg, während die Verzögerung auf den Gefäßen mit hohen Gaben an GeO_2 recht erheblich war.

b) *Versuch mit Buchweizen.* Der Versuch wurde mit 15 Pflanzen durchgeführt. Irgendwelche Unterschiede ließen sich während der 35tägigen Vegetationsperiode im Aussehen und in der Entwicklung der einzelnen Versuchspflanzen nicht beobachten.

c) *Versuch mit Senf.* Das gleiche gilt vom Senf. Auch hier ließ sich im Pflanzenbestand (20 Pflanzen pro Topf) keinerlei merklicher Unterschied feststellen.

Bei der Ernte wurden die oberirdischen Teile für sich gesammelt, getrocknet und gewogen. Die Wurzeln wurden sorgfältig ausgewaschen, die aus den zusammenhängenden Gefäßen vereinigt und getrocknet. Eine direkte Bestimmung der Wurzelmasse war nicht möglich, da die verfilzten Fasern reichlich Sand einschlossen. Um einen angenäherten Wert zu bekommen, wurde ein Teil der zerkleinerten Masse verascht, der Sandgehalt der Asche bestimmt und in Abzug gebracht. Die so aus dem Gesamtgewicht ermittelte Durchschnittszahl für das einzelne Gefäß ist in der nachstehenden Erntetabelle 1 eingetragen.

Tabelle 1. Pro Gefäß geerntete Trockensubstanz in Gramm.

GeO_2-Düngung mg pro 1 kg Boden	Hafer		Buchweizen		Senf	
	oberird. Teile	Wurzel	oberird. Teile	Wurzel	oberird. Teile	Wurzel
0,0	81,5 ± 0,9	36,2	28,7 ± 1,1	7,3	20,7 ± 0,3	4,1
0,1	82,7 ± 0,4	28,1	29,2 ± 0,9	6,5	19,7 ± 0,9	6,8
0,5	78,6 ± 0,5	33,2	28,2 ± 1,1	8,0	20,7 ± 0,9	5,7
1,0	76,8 ± 2,7	26,7	24,7 ± 1,0	6,8	18,7 ± 0,7	4,1
5,0	76,5 ± 0,8	28,6	24,2 ± 0,4	5,4	19,0 ± 0,4	4,0
10,0	71,9 ± 1,0	32,0	26,0 ± 0,2	6,5	18,3 ± 0,9	5,5

Beim Hafer wirkt die kleinste Germaniummenge scheinbar etwas ertragssteigernd; größere Mengen dagegen sind einwandfrei wachstumshemmend. Beim Buchweizen und Senf ist aus den Erntezahlen keinerlei sichere Einwirkung von Germanium festzustellen. Die Ermittlung der Germaniummengen, die von der Pflanze aufgenommen sind, erfolgte nach dem Verfahren von W. GEILMANN und K. BRÜNGER, getrennt für Wurzel und oberirdische Pflanzenteile. Gleichzeitig wurde auch in besonderen Proben der Gehalt für „Reinasche" bestimmt, um den gefundenen Germaniumgehalt auf die aufgenommene Menge an Mineralstoffen beziehen zu können. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen geben die Tabellen 2—4 wieder. Bei der Angabe des Germaniumgehalts der Asche ist dieser stets auf „Reinasche" bezogen.

Tabelle 2. Germaniumaufnahme durch Hafer.

Germanium-gehalt pro Gefäß in mg	Die Trockensubstanz enthielt pro 1 g γ Germanium		Die Asche enthielt in %		Aufgenommene Menge an Germanium in mg			In % der vorhandenen Menge
	oberird. Teile	Wurzel	oberird. Teile	Wurzel	oberird. Teile	Wurzel	ges.	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,42	2,5	4,4	0,0063	0,011	0,21	0,12	0,33	78,6
2,08	12,0	7,0	0,030	0,025	0,94	0,23	1,17	56,2
4,06	20,0	15,6	0,050	0,043	1,54	0,42	1,96	47,1
20,8	94,0	70,6	0,235	0,220	7,19	2,02	9,21	44,3
41,6	147,0	376,0	0,368	1,175	10,57	12,03	22,60	54,4

Germanium wird von Hafer sowohl in der oberirdischen Pflanzenmasse wie auch in der Wurzel merklich aufgespeichert. Die Aufnahme ist abhängig von der im Boden zur Verfügung stehenden Menge. Die prozentualen Gehalte der Pflanzenasche an Germanium können recht erheblich werden und bis auf 1 % steigen, auch wieder abhängig von der disponiblen Menge. Weiterhin zeigen diese prozentualen Gehalte in der Asche aber auch, daß die Wurzel nicht bevorzugt (abgesehen von der höchsten Konzentration) Germanium aufnimmt. Aus sehr verdünnten Bodenlösungen wurden über 75 % des Germaniums festgelegt, aus konzentrierten rund 50 %. Das bedeutet eine erhebliche Speicherung in der Pflanze.

Tabelle 3. Germaniumaufnahme durch Buchweizen.

Germanium-gehalt pro Gefäß in mg	Die Trockensubstanz enthielt pro 1 g γ Germanium		Die Asche enthielt in %		Aufgenommene Menge an Germanium in mg			In % der vorhandenen Menge
	oberird. Teile	Wurzel	oberird. Teile	Wurzel	oberird. Teile	Wurzel	ges.	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,42	6,4	13,8	0,004	0,019	0,19	0,09	0,28	66,7
2,08	12,0	34,0	0,008	0,061	0,34	0,27	0,61	29,3
4,06	16,1	58,5	0,012	0,101	0,40	0,41	0,81	20,0
20,8	20,2	269,0	0,014	0,427	0,49	1,45	1,94	9,3
41,6	33,8	570,0	0,025	0,950	0,88	3,71	4,59	11,0

Auch beim Buchweizen erfolgt eine Germaniumaufnahme, und zwar in Abhängigkeit von der verfügbaren Menge. Wie ein Vergleich der

23

Aschengehalte zeigt, wurde jedoch im Gegensatz zum Hafer Ge bevorzugt in der Wurzel gespeichert.

Tabelle 4. Germaniumaufnahme durch Senf.

Germanium-gehalt pro Gefäß in mg	1 g Trockensubstanz enthielt γ Germanium		Die Asche enthielt in %		Aufgenommene Menge an Germanium in mg			In % der vorhandenen Menge
	oberird. Teile	Wurzel	oberird. Teile	Wurzel	oberird. Teile	Wurzel	ges.	
0,0	—	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,42	4,1	8,8	0,003	0,013	0,08	0,06	0,14	33,3
2,08	10,1	19,2	0,006	0,027	0,21	0,11	0,32	15,4
4,06	13,5	52,3	0,007	0,078	0,25	0,21	0,46	11,3
20,8	15,2	158	0,010	0,239	0,30	0,63	0,93	4,5
41,6	22,7	313	0,013	0,429	0,42	1,72	2,14	5,1

Senf nimmt ebenfalls Germanium auf, eine Speicherung erfolgt zweifellos in der Wurzel. Ein Vergleich der Fähigkeit zur Germaniumaufnahme bei den geprüften drei Pflanzen zeigt, daß in erster Linie Hafer zur Aufnahme neigt, in bedeutend geringerem Maße Buchweizen und noch weniger Senf. Ganz allgemein steigt die Aufnahme mit der im Boden zur Verfügung stehenden Menge an; im Vergleich zum oberirdischen Teil wird bei Buchweizen und Senf in der Wurzel bedeutend mehr niedergelegt.

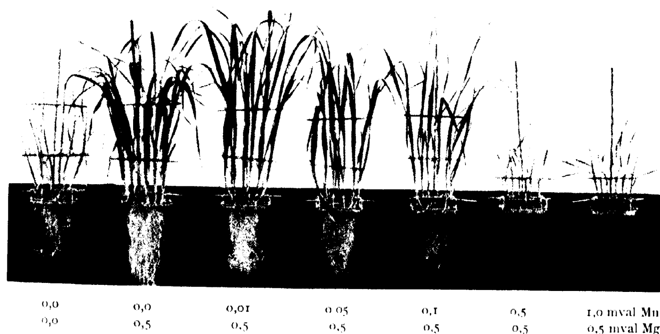
Literatur.

1. BRÜGGE und SEILMANN, Nachr. d. Ges. d. Wiss. zu Göttingen, math.-phys. Kl. 1932. S. 249—253.
2. Biochem. Z. Bd. 275, H. 5 u. 6, S. 387.

d) Mangan.

Zu den Stoffen, deren Fehlen in manchen Fällen als Ursache für eine Beeinträchtigung der Entwicklung der Pflanze in Betracht kommen kann, gehört nach G. BERTRAND (1) das Mangan. Auf die Wichtigkeit des Mangans für die Pflanze wurde auch durch BRENCHLEY (2) hingewiesen. SKINNER und REID (3) fanden, daß Mangan besonders auf Kalkböden wirksam war und daß bei Manganmangel chlorotische Erscheinungen auftraten. O. SCHREINER (4) konnte bei Versuchen in Südflorida ebenfalls eine günstige Manganwirkung beobachten.

HUDIG (5) empfahl Mangansulfat als wirksam für die Bekämpfung der Urbarmachungskrankheit, die auf alkalischen Böden eintritt. Auch in Südaustralien konnte PIPER (6) auf alkalischen Böden beachtliche Erfolge bei einer Düngung mit Mangan feststellen. TEAKLE, HOARE und THOMAS (7) konnten dies für westaustralische Böden nicht bestätigen. A. S. WILD (8) fand dagegen in Westaustralien, daß eine Gabe von 14 Pfund $MnSO_4$ je acre die Saat vor Befall mit Dörrfleckenkrankheit schützte.



0,0	0,0	0,01	0,05	0,1	0,5	1,0 mval Mn
0,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5 mval Mg

Abb. 87. Wasserkulturversuche zu Gerste mit steigenden Mangangaben.
Experiments on barley in water culture with increasing applications of manganese.

K. SCHARRER und W. SCHROPP (9) fanden bei Sand- und Wasserkulturversuchen eine leichte Tendenz zu Ertragssteigerungen durch geringe Manganzusätze.

Einen Grund für diese unterschiedlichen Beobachtungen lassen Arbeiten von KARSTEN-OLSEN (10) erkennen, bei denen sich ergab, daß die in der Bodenlösung enthaltene Manganmenge um so größer wird, je niedriger der p_H-Wert des Bodens ist. Das gelöste Mangan liegt als Mangano-Ion vor, das nur in saurer Lösung beständig ist, in basischer dagegen zum Mangandioxyd oxydiert wird. Böden, auf denen dies der Fall ist, können an Manganmangel leiden. Der Manganmangel hängt also von der Reaktion des Bodens und von seinem Oxydationsvermögen ab. So trat Dörrfleckenkrankheit auf einem mangan-

armen Boden nicht auf, wenn durch Zusammenpressen der Erde und durch reichliche Zufuhr von Wasser der Sauerstoffzutritt erschwert wurde.

Versuche über die Wirkung einer Zufuhr von Mangan werden, wenn sie im Boden durchgeführt werden, daher stets dadurch kompliziert werden, daß die Mangankonzentration durch die Reaktion oder das Oxydationspotential des Bodens beeinträchtigt wird. Um ein Bild von dem physiologischen Manganbedarf der Pflanze zu gewinnen, arbeiteten wir mit Gerste in Wasserkultur. Indem wir der Nährlösung steigende Mengen von Mangansulfat zusetzten, konnten wir hier die Manganmengen, die der Pflanze zur Verfügung standen, genau regeln.

Die einzelnen Gefäße erhielten bei den Versuchen folgende Grunddüngung:

Tabelle 1. Zusammensetzung der Nährlösung für die Wasserkulturversuche.

Pro Liter				Pro Gefäß	
6	mmol	KNO_3		0,971 g	KNO_3
0,25	„	Na_2SO_4		0,059 „	Na_2SO_4
0,5	„	$CaH_4(PO_4)_2$	=	0,202 „	$CaH_4(PO_4)_2 \cdot H_2O$
0,25	„	$FeSO_4$	=	0,061 „	$FeSO_4$
4,5	„	$CaCO_3$		0,721 „	$CaCO_3$
0,5	„	$MgSO_4$		0,197 „	$MgSO_4 . 7H_2O$

Eine Reihe von Gefäßen blieb ohne Zusatz von Mangansulfat, die übrigen Reihen erhielten als Differenzdüngung (Tabelle 2):

Tabelle 2. Mangangaben als Differenzdüngung.

Pro Liter				Pro Gefäß					
0,01 mmol	Mn	=	0,57 mg	MnO	=	1,21	mg	$MnSO_4$
0,05 „	Mn	=	2,84 „	MnO	=	6,04	„	$MnSO_4$
0,1 „	Mn	=	5,67 „	MnO	=	12,1	„	$MnSO_4$
0,5 „	Mn	=	28,37 „	MnO	=	60,4	„	$MnSO_4$
1,0 „	Mn	=	56,7 „	MnO	=	120,8	„	$MnSO_4$

Die Entwicklung der Pflanzen in den Lösungen ohne Mn und mit 0,01—1,0 mval Mn verlief in den ersten 10 Tagen ganz gleich; nach 18—20 Tagen traten bei den Gaben von 0,5—1,0 mval Mn braune Flecken und Ausscheidungen auf Blättern und Wurzeln auf. Die Bestockung wurde durch den Zusatz von 0,5 und 1,0 mval Mn stark gehemmt, nach 30 Tagen blieb auch die Reihe mit 0,1 mval Mn deutlich zurück. Das Längenwachstum

war in den Reihen 0,01—0,05 mval Mn etwas stärker als in der Reihe ohne Mn, die Bestockung blieb aber auch hier zurück, wie die Abb. 87 zeigt.

Auch die Wurzelausbildung wurde bereits durch die geringsten Mn-Gaben etwas beeinträchtigt. Bis zur Aberntung, die nach 60 Tagen erfolgte, hielten nur die Reihen mit 0, 0,01 und 0,05 mval Mn ihr Wachstum aufrecht. Die Reihen mit 0,1 mval Mn blieben auf dem Entwicklungsstand stehen, den sie nach 20 Tagen, also dem Zeitpunkt des Auftretens der Befallserscheinungen, erreicht hatten, während die Reihen mit 0,5 und 1,0 mval Mn nur ganz wenig ihre Anfangsentwicklung überschritten.

Die Ernte an Trockensubstanz sowie die Zusammensetzung der Ernte ist aus folgender Tabelle 3 ersichtlich.

Tabelle 3. Ergebnis des Manganversuchs zu Gerste.

Differenzdüngung in mval/Liter Mn/2	Ernte Trockensubstanz pro Gefäß g	Asche %	N %	P_2O_5 %	K_2O %	CaO %	MgO %	MnO %
0	3,27 + 0,05	15,31	3,46	1,63	7,42	1,42	0,506	0,0018
0,01	3,52 + 0,05	15,82	2,77	1,73	7,84	1,26	0,543	0,105
0,05	3,92 + 0,74	17,21	3,62	2,04	8,60	1,52	0,752	0,123
0,1	2,20 + 0,43	16,71	2,84	3,36	9,45	1,83	0,662	0,338
0,5	0,38 + 0,07	18,66	3,84	3,78	9,74	1,61	0,637	1,149
1,0	0,27 + 0,03	21,94	3,01	4,63	9,02	1,68	0,602	3,339

Die Gabe von 0,01 mval Mn hat eine geringe Ertragssteigerung bewirkt, die als außerhalb der Fehlergrenze liegend anzusehen ist. Bei der Gabe von 0,05 mval Mn war die Ernte an Trockensubstanz zwar noch etwas höher, hier war der mittlere Fehler aber so groß, daß diese Differenz nicht als gesichert zu bezeichnen ist. Die Möglichkeit, daß geringe Mangangaben eine Förderung des Wachstums bewirken, ist nach diesen Ergebnissen also nicht ausgeschlossen; allerdings ist die Wirkung des Mangans auf keinen Fall beträchtlich.

Der prozentuale Gehalt an Aschenbestandteilen steigt mit steigenden Mangangaben, vor allem bei sinkenden Erträgen. Der Mangangehalt ist bereits bei der ersten geringen Mangangabe beträchtlich gestiegen. Die Aufnahme an Mangan betrug in Milligramm je Gefäß (Tabelle 4):

Tabelle 4. Manganaufnahme bei verschiedener Manganzufuhr.

Düngung mval Mn/2 je Liter	Manganaufnahme mg MnO je Gefäß
0	0,06
0,01	0,37
0,05	4,70
0,1	7,47
0,5	4,23
1,0	9,00

Bis zur Gabe von 0,05 Mn wurden die dargebotenen Manganmengen vollständig aufgenommen, bei den höheren Manganmengen nur bis zu etwa 15%.

Als Ergebnis der Versuche zeigte sich, daß Schädigungen durch Manganmangel nicht beobachtet werden konnten, offenbar reichte der Mangangehalt der Saat bereits aus, um sie zu verhüten. Eine geringe Mn-Gabe hat die Erträge an Trockensubstanz infolge Förderung des Längenwachstums etwas erhöht; es ist mithin eine gewisse stimulierende Wirkung geringer Gaben möglich. Bei höheren Mangangaben traten starke Schädigungen ein, die zu einer vollständigen Hemmung des Wachstums führten. Auf den Hektar umgerechnet entsprechen diese Mangangaben Mengen von 5—15 kg; indes wird bei den dort stets vorliegenden Adsorptionsvorgängen im freien Felde die letale Grenze wesentlich höher liegen.

Literatur.

1. BERTRAND, G., Compt. Rend. Bd. 124, S. 1355—1358 (1897).
2. BRENCHLEY, W., Cambridge Univ. Press, 1914 u. 1922.
3. SKINNER J., u. F. REID, U. S. Dept. Agr. Bull. 441 (1916).
4. SCHREINER, O., American Potato Journ. 1930, Nov.
5. HUDIG, J., Landw. Jahrb. Bd. 40, S. 613 (1911).
6. PIPER, C. S., The Journ. of Agric. Science Bd. 21, S. 762.
7. TEAKLE, L. J., A. J. HOARE u. J. THOMAS, Journ. of the Dept. of Agric. Western Australia 1933, S. 340—354.
8. WILD, A. S., u. BAILEY, Journ. of the Dept. of Agric. Western Australia 1932, S. 76—77.
9. SCHARRER, K., u. W. SCHROPP, Zeitschr. f. Pflanzenernährung, Düngung u. Bodenkunde, A, Bd. 36, Nr. 1/2, S. 1—15 (1934).
10. CARSTEN-OLSEN, Biochem. Z. Bd. 269, S. 329 (1934).

Zusammenfassung.

Außer den die Hauptbestandteile der Pflanzenasche bildenden Elementen findet sich in ihr noch eine Reihe anderer Elemente. Welche von diesen anderen Elementen als nebensächlich und welche als am Aufbau der Pflanze helfend bezeichnet werden können, ist noch nicht ganz zweifelsfrei festgestellt. Im Laufe unserer Untersuchungen prüften wir die pflanzenphysiologische Bedeutung einer Reihe von derartigen Elementen, so weit sich diese Untersuchungen mit unseren Hauptaufgaben berührten.

So führten wir im Hinblick auf eine Prüfung der grundsätzlichen Frage, ob die Kaliwirkung rein stofflicher Natur ist oder ob sie auf einer Wirkung der radioaktiven Strahlung des Kaliumatoms beruht,

Gefäßversuche in Wasser- und Sandkulturen an Hafer, Tabak und Mais durch, bei denen das Kali teilweise durch die mit ihm nahe verwandten Elemente Rubidium und Caesium ersetzt wurde. Es zeigte sich, daß bereits geringe Mengen von Rubidium und in noch höherem Grade von Caesium einen schädigenden Einfluß auf den Ertrag ausübten. Auch ein nur teilweiser Ersatz von K in seinen Funktionen durch Rubidium und Caesium erwies sich als unmöglich.

Bei Untersuchungen über die Austauschazidität ergab sich die Frage, inwieweit Schäden durch Bodensäure als Wirkungen des Al-Ions anzusehen sind.

Um die Frage nach der spezifischen Wirkung des Aluminiums zu klären, wurden die Wurzeln von vorgezogenen Maispflanzen geteilt und getrennt auf der einen Seite mit N und K, auf der anderen mit Ca und P ernährt. Das $Al^{\cdots}$ wurde unter Einhaltung der Isotonie einmal der NK-Nährlösung und einmal der P-Lösung zugesetzt. In einer weiteren Versuchsreihe wurde ein Wurzelstrang normal ernährt, während der andere in eine Al-Lösung eintauchte. Die Reaktion der getrennten Lösungen war bei Beendigung des Versuches gleich sauer. — In allen Versuchsreihen zeigten sich die Maispflanzen mit steigenden Al-Gaben, und zwar die Wurzeln stets früher als die Sprosse, zunehmend geschädigt. Bei getrennter Wurzelernährung wurde nur der Wurzelstrang geschädigt, der in die Al-Lösung eintauchte, während sich der andere bei gleichsaurer Reaktion völlig normal entwickelte. Wurde dem einen Wurzelstrang nur Aluminiumsalz geboten, so starb dieser ab, ohne daß die Pflanze geschädigt wurde. Das Aluminiumion muß demnach als ein spezifisches Wurzelgift angesehen werden. Die Wasserstoffionen haben innerhalb der Spanne, die im Boden praktisch auftritt, nur insofern Bedeutung, als sie die Existenz der Al-Ionen bedingen.

Mit der P-Ernährung hängt die Schädigung physiologisch nicht zusammen. Ca-Ionen konnten die Giftwirkung nicht aufheben.

Das Aluminium wird in oder an der Wurzel niedergeschlagen; in den Blättern auch der stark geschädigten Pflanzen wurde nicht mehr Aluminium gefunden als in den gesunden Pflanzen. Die durch Aluminium geschädigten Wurzeln zeigten krankhaft vergrößerte Zellen im Rindenparenchym.

Unsere Versuche klären die sich widersprechenden Erfahrungen der landwirtschaftlichen Praxis über den Einfluß des sauren Bodens dahingehend, daß eine Schädigung immer dann eintreten muß, wenn der Säuregrad des Bodens die Bildung von Al-Ionen aus Tonerdehydrat-Gel, das beim Abbau der Bodensilikate entsteht, ermöglicht. Sinkt die Reaktion des Bodens unter p_H 5, so ist diese Möglichkeit gegeben.

Im Anschluß an unsere Untersuchungen über die Aufnehmbarkeit von Aluminium durch die Pflanze prüften wir auch die Aufnehmbarkeit von Germanium, das in der Asche von Kohle ziemlich häufig vorkommt. Bei Gefäßversuchen zu Hafer, Buchweizen und Senf zeigte sich, daß in erster Linie der Hafer zur Aufnahme von Germanium neigt, in bedeutend geringerem Maße der Buchweizen und noch weniger der Senf. Die Aufnahme steigt mit der im Boden zur Verfügung stehenden Menge an. Im Vergleich zum oberirdischen Teil wird bei Buchweizen und Senf bedeutend mehr Germanium in der Wurzel festgelegt.

Bei von uns angestellten Versuchen über die Bekämpfung der Dörrfleckenkrankheit mußten wir auf die Wirkung des zur Bekämpfung dieser Krankheit empfohlenen Mangans eingehen.

Über die Wirkung von Mangan auf das Wachstum der Pflanzen liegen in der Literatur widersprechende Berichte vor, die damit erklärt werden, daß im Boden das Verhältnis von Mangano-Ion zu Mangandioxyd stark wechselt und daß mithin der Gehalt des Bodens an dem für die Pflanze allein in Frage kommenden Mangano-Ion keine feste Größe ist. Um diese Fehlerquellen auszuschließen, führten wir Versuche über die Wirkung von Mangan in Wasserkultur durch. Schäden durch Manganmangel konnten wir bei Hafer nicht feststellen, da offenbar der geringe Mangangehalt der Saat bereits zur Deckung des Manganbedarfes der wachsenden Haferpflanze ausreichte. Geringe Mangangaben erhöhten etwas die Erträge an Trockensubstanz infolge Förderung des Längenwachstums, was im Sinne einer stimulierenden Wirkung des Mangans liegen würde; höhere Mangangaben verursachten Schädigungen, die bis zu einer vollständigen Hemmung des Wachstums führten.

SUMMARY.

In addition to the chief constituents a number of other elements are found in plant ash. It has, however, not yet been ascertained which of these elements are merely accidental and which play an actual part in the building up of the plant organism. In the course of our investigations we studied the physiological importance of a number of such elements, in so far as such studies had a bearing on our main investigations.

Thus we carried out a series of pot experiments in water and sand culture on oats, tobacco and maize in which part of the potash dressings were replaced by equivalent amounts of the closely related elements Rubidium and Caesium. It was found that even small amounts of Rubidium and to a still greater extent of Caesium had a detrimental effect on the yield, which indicates that even partial substitution of Potassium by Rubidium and Caesium is impossible.

Investigations on soil acidity gave rise to the question as to the extent to which the damage caused by acidity may be ascribed to the presence of Aluminium ions.

In order to investigate these questions the roots of maize seedlings were divided and one half immersed in a solution containing N and K, and the other in a solution containing Ca and P. Al-ion was added in one series to the NK-solution, in another to the CaP-solution, both solutions being isotonic. In a third series one half of the roots was immersed in a normal solution and the other half in a solution containing Al-ion. The reaction of the different solutions showed the same degree of acidity at the end of the experiment.

In every series increasing applications of Al-ion gave rise to increasing damage to the maize plants, the roots being affected earlier than the shoots in this respect. In cases in which the roots were divided only that portion of the roots immersed in Al-solution was damaged while the other half developed normally although both solutions were equally acid. In the third experimental series the portion of the root system immersed in Al-solution died off without the development of the plant being affected. Consequently the Al-ion must be a specific root poison. The presence of H-ions in the concentrations actually

met with in the soil is only of importance in as much as it permits of the existence of Al-ions in the soil solution.

The damage to the plant has no physiological connection with the inability of the plant to take up P. Ca-ions are not capable of counteracting the toxic effects of Al-ions.

Aluminium is precipitated either within or on the surface of the roots; the quantity of aluminium found in the leaves of severely affected plants was not greater than that found in the leaves of healthy plants. In the roots of the plants suffering from the effects of Aluminium poisoning the parenchymous cells were abnormally enlarged.

Our experiments afford an explanation of the discrepancies in the observation of the effect of soil acidity under practical conditions. Damage to the crop occurs as soon as the degree of acidity in the soil permits of the formation of Al-ions from the aluminium hydroxide gels formed by the desintegration of the soil silicates. This is possible, when the reaction of the soil sinks below p_H 5.

In connection with our investigations on the absorption of aluminium by the plant we also studied the absorption of Germanium, an element, frequently found in coal ash. In pot experiments on oats, buckwheat and mustard it was found that the oat plant may absorb appreciable quantities of this element, while buckwheat takes up considerably smaller amounts and mustard still less. The absorption increases with the available supply of this element in the soil. In comparison with the amounts contained in the leaves and stalks considerably more Germanium is retained in the roots of buckwheat and mustard plants.

In our experiments on the control of the gray spot disease it was necessary to study the effect of manganese which has been recommended as a remedy for this disease. The scientific literature contains much contradictory evidence on the influence of manganese on plant growth which may be explained by the fact that the ratios between Mangano-ion and manganese dioxide fluctuates considerably in the soil, so that the content of Mn-ion in the soil which alone is of importance to the plant can not be regarded as being constant. In order to avoid this source of error we carried out water culture experiments with manganese. No symptoms of Mn-deficiency were observed in the case of barley, as the small amount of this element present in the seed was apparently

sufficient to meet the requirements of the growing plants. Small doses of manganese increased the yields of dry matter somewhat by promoting longitudinal growth. This would indicate a slight stimulating effect of manganese. Increasing applications of manganese injured the plants until a point was reached where growth ceased altogether.

7. Die Nährstoffaufnahme von Reiskeimpflanzen.

Wenn man die Keimpflanzenmethode von NEUBAUER für tropische Verhältnisse anwendbar machen will, so ist es erforderlich, daß man bei der Ausführung dieser Methode den Roggen, der im tropischen Klima keine normale Entwicklung zeigt, durch eine andere Versuchspflanze ersetzt, die in den Tropen gedeiht. Es lag nahe, an Stelle der bei uns üblichen Anwendung von Roggen bei der Ausführung der Keimpflanzenmethode in den Tropen den Reis zu wählen.

Über Versuche betreffend Anwendbarkeit von Reis für die Keimpflanzenuntersuchungen haben bereits ROEMER und SCHEFFER (1) berichtet. ROEMER und SCHEFFER prüften verschiedene Sorten von Sumpfreis wie auch von Bergreis aus Java und Japan. Sie benutzten für ihre Untersuchungen eine Reihe von Böden mit verschiedenen Aziditätsgraden. Sie fanden, daß die Reispflanzen nicht in der Lage sind, so viel Kali und Phosphorsäure aufzunehmen wie der Roggen, wenigstens nicht auf neutralen und alkalischen Böden. Bei sauren und kaliarmen Böden konnte allerdings gelegentlich der Reis auch größere Mengen von Kali und Phosphorsäure aufschließen als der Roggen. Die Frage, ob der Reis sich für die Keimpflanzenmethode eignet, bejahen daher ROEMER und SCHEFFER nur bedingt, nämlich nur für Böden mit saurer Reaktion, wobei sie annehmen, daß diese Böden für den Anbau von Reis überwiegende Bedeutung haben. Große Bedeutung für die Durchführung der Keimpflanzenmethode mit Reis schreiben ROEMER und SCHEFFER vor allem der Auswahl einer geeigneten Reissorte zu.

Für die Prüfung der Frage, ob es möglich ist, den Reis für die Ausführung von Bodenuntersuchungen nach der Keimpflanzenmethode in tropischen Gebieten anzuwenden, schien es uns wichtig, die Nährstoffaufnahme von Reis unter tropischen Bedingungen zu prüfen. An dieser

Untersuchung beteiligte sich liebenswürdigerweise die Versuchsstation Pasoeroean-Java, indem sie uns Proben tropischer Böden zur Verfügung stellte und außerdem Paralleluntersuchungen zu den unsrigen durchführte.

Die Bodenproben wurden, der Hauptbewurzelungszone von Zuckerrohr entsprechend, aus einer Krumenschicht von 0—60 cm gezogen. Die Reaktion der meisten Böden war annähernd neutral, der am stärksten saure Boden wies eine p_H-Zahl von 5,6 auf. Für die Roggenversuche wie für die Reisversuche wurde in Lichterfelde wie in Pasoeroean das



Abb. 88. Reisversuch im Tropenhaus Berlin-Lichterfelde.
Rice experiment in the glass house for tropical crops of Berlin-Lichterfelde.

gleiche Saatgut benutzt. Die Versuche wurden auch an beiden Stellen nach der gleichen Arbeitsweise und zu gleicher Zeit durchgeführt.

Auf Grund der Befunde von ROEMER bemühten wir uns, für unsere Untersuchungen eine möglichst geeignete Reissorte ausfindig zu machen, die ein gutes Aufnahmevermögen für die Bodennährstoffe hat. Als solche wurde uns für unsere Untersuchungen sowohl in Berlin als auch in Pasoeroean die Naßreissorte Tjina von der Allgemeen Proefstation voor den Landbouw in Buitenzorg zur Verfügung gestellt.

Als Maß für die Menge der aufnehmbaren Pflanzennährstoffe eines Bodens wurden die Mengen betrachtet, die von Roggenkeimpflanzen unter normalen Wachstumsbedingungen aufgenommen werden.

In Pasoeroean erwiesen sich Vergleichsversuche mit Roggen als nicht möglich.

Bei Durchführung der Versuche mit Roggen in Pasoeroean erschienen die Roggenkeimlinge sehr unregelmäßig, die ersten nach einem Tage, die letzten nach drei oder vier Tagen. Bald stellte sich heraus, daß der Roggen während des weiteren Wachstumsverlaufs vollkommen versagte, die Pflänzchen zeigten eine ungesunde, gelblichgrüne Farbe, sie entwickelten sich nur schwach, wurden teilweise stockig und starben schließlich ab.

In Berlin-Lichterfelde wurden die Roggenversuche im Neubauerraum unter normalen Bedingungen durchgeführt; außerdem wurden sie aber auch im Warmhause der Versuchsstation unter tropischen Bedingungen angesetzt, was dadurch möglich war, daß die Klimatisatoranlage dieses Warmhauses die Nachahmung eines tropischen Klimas hinsichtlich Temperatur und relativer Feuchtigkeit gestattet. Es zeigte sich auch im Warmhause von Lichterfelde, daß die Entwicklung der Roggenkeimpflanzen auf vielen Böden gestört war. Die Kaliaufnahme der Keimpflanzen war im Warmhause durchweg geringer als bei der Durchführung der Untersuchungen unter normalen Verhältnissen. Scheinbar waren die Keim-

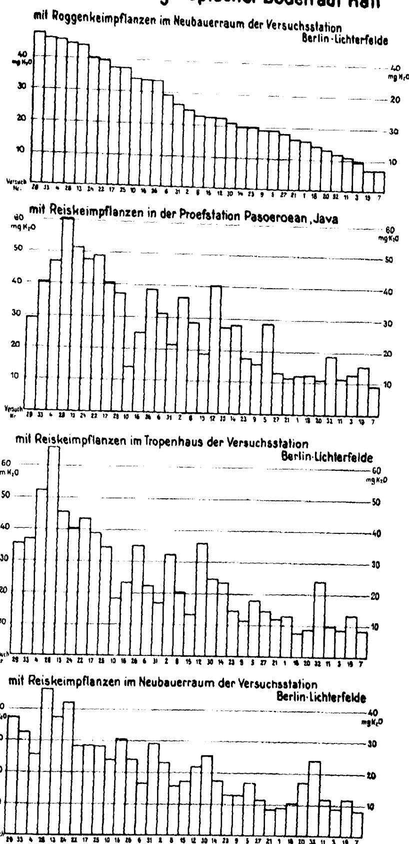


Abb. 89. Neubaueranalysen tropischer Böden.
Neubauer analysis of tropical soils for potash.

pflanzen bei der geringeren Transpiration im Warmhause im allgemeinen nicht in der Lage, mehr Kali aufzunehmen als etwas über 20 mg.

Bei den Vorversuchen mit Reis ergab sich eine Versuchsdauer von 15 Tagen als zweckmäßig. Standen die Reispflänzchen länger, so zeigten sie kein weiteres Längenwachstum und vergilbten.

Wenn wir die verschiedenen Bodenproben nach der Kaliaufnahme ordnen, wie sie bei normalen Keimpflanzenversuchen in Berlin-Lichterfelde erzielt wurde, so ergab sich bei einem Vergleich dieser Werte mit der Kaliaufnahme, welche die Reispflanzen in Pasoeroean auf den gleichen Böden aufwiesen, eine befriedigende Parallelität.

Der Reis war in der Lage, Kali in ziemlich großen Mengen, nämlich bis über 60 mg aufzunehmen. Die Kaliaufnahme ist bei Reis regelmäßig höher als bei Roggen. Einige Böden tanzen allerdings aus der Reihe. Die Fehler können aber ebensogut auf seiten der Roggenversuche wie auf seiten der Reisversuche liegen. Auffällig ist es jedenfalls, daß eine Wiederholung der Reisversuche im Warmhaus Berlin-Lichterfelde fast genau den gleichen Kurvenlauf ergab wie die Vornahme der Versuche in Pasoeroean (Abb. 89). Es hat sich also gezeigt, daß die Reisversuche reproduzierbare Resultate ergeben, wenn die klimatischen Bedingungen nicht zu stark voneinander abweichen. Wenn die Versuche mit Reis im Neubauerraum der Versuchsstation Berlin-Lichterfelde bei einer Temperatur von 20° C angesetzt wurden, so ergaben sich zwar abweichende Ergebnisse von den unter tropischen Verhältnissen im Warmhaus Berlin-Lichterfelde bzw. in Pasoeroean angesetzten Reisversuchen. Im allgemeinen entsprechen allerdings selbst dann noch die höheren Neubauerzahlen für Roggen höheren Neubauerzahlen für Reis.

Bei den Phosphorsäurebestimmungen waren gesetzmäßige Beziehungen zwischen den Versuchen mit Roggen und mit Reis nicht zu erkennen. So zeigte die Untersuchung mit Reis unter tropischen Verhältnissen Phosphorsäuremangel vielfach auch bei solchen Böden, die bei der normalen Ausführung der Neubaueruntersuchung mit Roggen einen befriedigenden Phosphorsäuregehalt aufgewiesen hatten. Auch bestehen größere Unterschiede als bei Kali zwischen den Ergebnissen der in Pasoeroean und der im Warmhaus Berlin-Lichterfelde durchgeführten Untersuchungen mit Reis.

Die relativ gute Übereinstimmung der unter verschiedenen Verhältnissen nach der Keimpflanzenmethode mit Roggen und mit Reis ge-

wonnenen Angaben über den leicht aufnehmbaren Kaligehalt der Böden weist darauf hin, daß auch bei der Untersuchung mit Reis der Nährstoffgehalt tropischer Böden in ähnlicher Weise erfaßt wird wie bei der Keimpflanzenmethode mit Roggen, die sich bei uns weitgehend durchgesetzt hat. Allerdings liegt eine besondere Schwierigkeit der Übertragung der Untersuchungsergebnisse auf tropische Böden dann vor, wenn diese bewässert werden, weil dann gelegentlich auch der Kali- und Phosphorsäuregehalt des Bewässerungswassers eine wichtige Rolle spielt. Man darf sich bei der Beurteilung des Düngerbedarfs solcher Böden nicht auf eine Untersuchung des Bodens beschränken, sondern muß auch die Nährstoffmengen berücksichtigen, die mit dem Irrigationswasser in gelöster oder aufnehmbarer aufgeschlämmter Form zugeführt werden.

1. RÖMER u. SCHEFFER, Ernährung d. Pflanze 1929, S. 332.

Zusammenfassung.

Die Möglichkeit, die Keimpflanzenmethode von NEUBAUER für die Untersuchung von Böden in den Tropen anzuwenden, scheitert daran, daß die Roggenkeimpflanzen im Tropenklima nicht gedeihen. Es lag nahe, bei der Ausführung der Keimpflanzenmethode in den Tropen anstatt Roggen Reis zu verwenden.

Um die Frage zu prüfen, ob die Keimpflanze von Reis den Nährstoffgehalt des Bodens in ähnlicher Weise aufnimmt wie die Roggenkeimpflanze, wurde die Nährstoffaufnahme von Reiskeimpflanzen aus einer Reihe von tropischen Böden verglichen mit den Nährstoffmengen, welche Roggenkeimpflanzen aus den gleichen Böden bei normaler Durchführung der Neubauermethode aufnahmen.

Es zeigte sich, daß die Reiskeimpflanzen in der Lage waren, beträchtliche Mengen von Kali aufzunehmen und daß die aufgenommenen Mengen einigermaßen parallel zu den durch die Roggenkeimpflanzen angezeigten Kaliwerten des Bodens verliefen. Die Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Düngungsversuchen war dagegen weniger gut. Hinsichtlich der Phosphorsäureaufnahme ergab sich keine befriedigende Übereinstimmung zwischen den Keimpflanzen von Reis und denen von Roggen.

SUMMARY.

Attempts to use the NEUBAUER method in soil investigations in the tropics have failed on account of the fact that the rye seedlings do not grow satisfactorily under tropical conditions. The question therefore arose as to whether it would be possible to substitute rice for rye for this purpose.

In order to clear up this question we carried out a series of experiments in which the assimilation of nutrients by rice seedlings growing on different tropical soils was compared with that of rye seedlings growing on the same soils under the conditions prescribed by NEUBAUER.

It was found that the rice seedlings were able to absorb considerable amounts of potash and that the potash values agreed fairly well with those obtained in the case of the rye seedlings. The correlation between these values and the results of field experiments on the same soils was however less satisfactory, as also was that between the assimilation of phosphoric acid by the rice seedlings and the rye seedlings.

8. Untersuchungen über die Beeinflussung der Baumwollfaser durch Kalidüngung.

Bei der Düngung der Baumwolle hat sich eine reichliche Bemessung der Kaligabe als notwendig erwiesen, um Schädigungen der Ernten durch „Cotton-Rust“ zu verhüten. Versuche im Baumwollbezirk von Nordamerika haben gezeigt, daß „Cotton-Rust“ auf Kalimangel beruht und daß er vollständig verhütet werden kann, wenn genügend Kali gegeben wird. HENRY T. MADDUX vom Agricultural Department der N. V. Kalimaatschappij berichtet über einen Versuch auf der Farm Josie V. Bacon in Madison, Georgia (Abb. 90). Der Ertrag betrug hier bei einer Düngung von 400 lbs Mischdünger 3 × 9 × 3 und einer Kopfdüngung mit 100 lbs schwefelsaurem Ammoniak, also einer ungenügenden Kaligabe, nur 870 lbs Seed Cotton je Acre. Wurde eine zusätzliche Düngung mit 500 lbs Chlorkalium verabreicht, so stieg der Ertrag auf 1640 lbs Seed Cotton. Die Blätter der Kalimangelparzelle waren am 1. Oktober durch Cotton-Rust zerstört (Abb. 91), während die Pflanzen der kalireichen Parzelle noch voll belaubt waren. Da die



Abb. 90. Düngungsversuch zu Baumwolle in Madison Georgia.

	Links: Befall mit Cotton Rust.	Rechts: Cotton Rust durch verstärkte Kalidüngung verhütet.
Düngung per acre:	400 lbs Mischung 3×9×3.	500 lbs Chlorkalium.
	100 ,, schwefels. Ammoniak.	100 ,, schwefels. Ammoniak.
		400 lbs Mischung 3×9×3.
Erträge per acre:	870 ,, Baumwolle.	1640 ,, Baumwolle.

Cotton experiments at Madison Georgia.

Left: Cotton defoliated by cotton rust. Right: Extra potash completely controlls rust



Abb. 91. Cotton Rust. Links oben: Verminderung des Chlorophylls bei beginnendem Kalimangel. Die anderen Blätter zeigen fortschreitenden Befall mit Cotton Rust. — Leaf top left shows breaking down of chlorophyll in leaf due to potash hunger, other leaves show progress of rust.

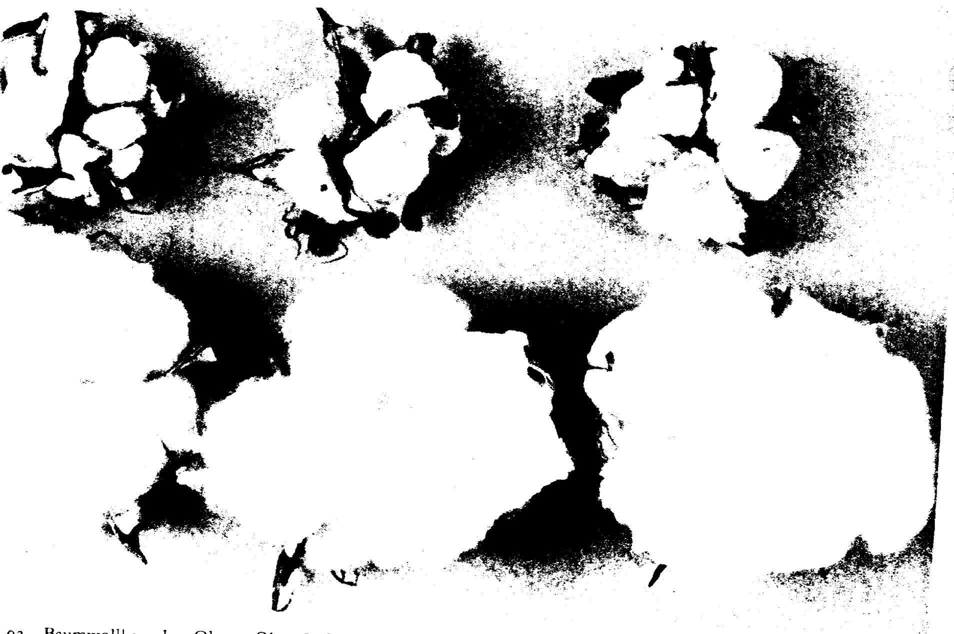


Abb. 92. Baumwollkapseln. Oben: Ohne Kali. (Durch Kalimangel am Öffnen verhindert.) Unten: Mit Kali.
Seed cotton in burs. Above: No potash. (Purse failed to open properly.) Below: With potash.

Baumwollpflanze den höchsten Kaligehalt in den Kapseln aufweist, ist es erklärlich, daß Kalimangel sich hier besonders stark bemerkbar machen muß. Bei Auftreten von Cotton-Rust bleiben die Kapseln klein und kommen nicht zur Reife, so daß sie sich nicht richtig öffnen (Abb. 92). Die Faser war bei Kalimangel ungleich, was für den Fabrikanten große Verluste bedeutet, während die Faser der vollgedüngten Parzellen gleichmäßig etwa 1 Zoll lang war (Abb. 93).



Abb. 93. Baumwollfasern, von der Saat befreit. Links: Ohne Kali. (Ungleichmäßige Faser.) Rechts: Mit Kali. (Gleichmäßige Faser von 1 Zoll Länge.)

Cotton lint combed from seed. Left: Without potash. (Lint not uniform due to potash hunger.) Right: With potash. (Lint measure 1 inch.)

Um die für die Baumwollkultur so wichtige Frage der etwaigen Möglichkeit einer Verbesserung der Faserqualität durch Kalidüngung genauer verfolgen zu können, bemühten wir uns, eine Methode auszuarbeiten, die es ermöglicht, nicht nur Veränderungen der Faserlänge, sondern überhaupt Beeinflussungen der Faserqualität exakt zu messen. Wenn man Faserproben von Feldbeständen untersucht, ist nun nicht zu vermeiden, daß die Ergebnisse eine sehr starke Streuung aufweisen, da Schwankungen der Bodenbeschaffenheit des Versuchsfeldes einen stärkeren Einfluß auf die Qualität der Faser ausüben können als eine

Veränderung in der Düngung. Wir zogen deshalb in unserem Tropenhaus Baumwolle unter verschiedenen Düngungen, aber unter vollständig gleichen Bodenbedingungen heran, um an diesem gut ver-



Abb. 94. Baumwollversuche im Tropenhaus Berlin-Lichterfelde.
Cotton experiments in glass house for tropical cultures of Berlin-Lichterfelde.

gleichbaren Material etwaige Beeinflussungen der Faserbeschaffenheit durch verschiedene Düngung festzustellen (Abb. 94). Wir erfreuten uns dabei der Unterstützung von Herrn Prof. Dr. TOBLER, Dresden, der die anatomischen Untersuchungen vornahm.

Die Methode der anatomischen Untersuchung hatte sich bei der Prüfung von Flachsproben auf ihre Faserqualität sehr gut bewährt.

Es hatten sich dabei so eindeutige Unterschiede bei verschiedener Düngungsweise herausgestellt, daß man die mit normaler Kaligabe versehenen Flachsproben ohne Kenntnis der Düngung auf Grund des anatomischen Befundes herausfinden konnte. Eine Übertragung derartiger Resultate auf die Baumwolle war natürlich von vornherein nicht zu erwarten, denn das Baumwollhaar ist nach seiner Entwicklung und als Organ des Pflanzenkörpers etwas vollkommen Verschiedenes von der Bastfaser des Flachses. Die Baumwollhaare stellen bekanntlich einzeln auswachsende Oberhautzellen auf der Samenschale dar, während die Bastfasern Komplexe gleichartiger zu Gruppen zusammengereihter Elemente in einem Gewebe vorstellen. Daß beide Arten von Gegenständen mehr oder weniger reine Zellulosemembranen besitzen (die Baumwollfaser indessen mit einer aufgelegten Cuticula wachsartiger Beschaffenheit), bedingt schon deshalb keine Parallele bei der Betrachtung der Düngewirkung, weil ja auch in Düngungsversuchen zu Faserpflanzen durchaus nicht alle Zellulosemembranen der Versuchspflanzen eine gleichartige oder überhaupt eine Beeinflussung zeigen, wie z. B. die durchaus nur Zellulosemembranen aufweisenden Zellen des Grundgewebes sich noch nie erkennbar durch die Düngung beeinflußt gezeigt haben.

Die Ergebnisse von Untersuchungen an der im Tropenhaus Berlin-Lichterfelde unter zwar den Tropen entsprechenden Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen, aber immerhin abweichenden Lichtverhältnissen gezogenen Baumwolle lassen sich zwar nicht ohne weiteres auf Baumwolle übertragen, die unter tropischen Verhältnissen im Freilande gewachsen ist; sie haben aber den Vorteil, daß sie unter sich streng vergleichbar sind und infolgedessen die Möglichkeit bieten, physiologische Gesetzmäßigkeiten zu erkennen.

Das Nächstliegende war, die Durchschnittslängen der Baumwollhaare in den verschiedenen Proben, d. h. den sog. Stapel, festzustellen durch das Stapeldiagramm. Auf diesem Wege hat sich jedoch kein brauchbares oder klares Ergebnis herausgestellt. Mochten die verschiedenartigen Düngungen auch einen gewissen Einfluß auf die ganze Pflanze oder die erzeugte Menge an Kapseln haben, so erwies sich jedenfalls die Durchschnittslänge der Baumwollhaare in den verschiedenen Kapseln bei den einzelnen Proben in keiner Weise klar beeinflußt. Zwar fielen die Stapeldiagramme für die verschiedenen Proben verschiedenartig aus, aber übereinstimmende bzw. gleichgerichtete Wirkungen bestimmter Düngefaktoren waren nicht erkennbar.

Untersucht wurde dann in zweiter Linie die Drehung des bandförmigen Baumwollhaares, da diese bei seiner technischen Verarbeitung eine

gewisse Rolle spielt. Sie ist allerdings auch als Sortenunterschied zu bewerten und die bekannten spinntechnisch benutzten Baumwollen unterscheiden sich in dieser Richtung ganz deutlich. Da bei unseren Proben eine einheitliche Sorte zugrunde lag, konnten etwaige Unterschiede nur auf die verschiedene Düngung zurückzuführen sein. Bei

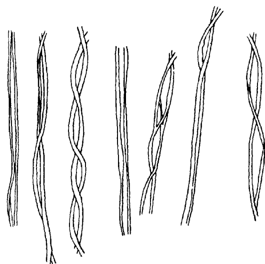


Abb. 95. Ungedüngt. — No Manure.

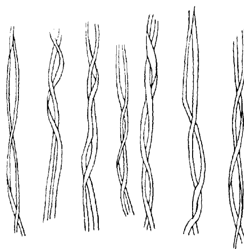


Abb. 96. NP.

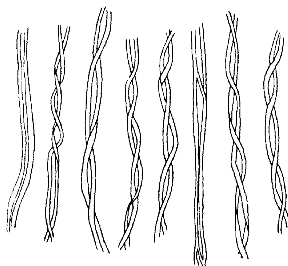


Abb. 97. PK.

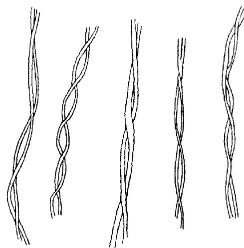


Abb. 98. NK.

Abb. 95—98. Drehungsbilder von Baumwollfasern. — Torsion of cotton fibre.

der Untersuchung kamen auch der Durchmesser des Haares an der Beobachtungsstelle, ferner die Wanddicke mit zur Berücksichtigung, doch ist bei diesen beiden Punkten Vorsicht anzuraten, weil man bei den Haaren schwer sagen kann, von welchem Teil des Haares das zur Beobachtung und Darstellung gelangende Bruchstück genommen worden ist, und weil außerdem die Länge des Haares im Präparat durchaus nichts über die tatsächliche Länge an der Samenschale besagt, denn das Haar

kann in größerer Höhe abgebrochen sein. Unter diesen Einschränkungen ergab sich aber doch für die untersuchten drei Proben, welche die Düngung NP, PK und NK hatten, folgende Beobachtung (Abb. 95 bis 98):

1. NP. Diese Probe enthält die gröbsten Haare, die im allgemeinen ziemlich dickwandig sind. Die Drehungen sind im allgemeinen kräftig, aber es kommen nicht selten stark abweichende Bildungen vor. Gerade die dickwandigeren Haare, die nicht selten sind, sind bisweilen weniger stark gedreht.
2. PK. Bei dieser Probe sind die Drehungen eigentlich fast überall zu finden, sind ziemlich regelmäßig und gleichartig. Die Wandungen sind mäßig verdickt, Abweichungen davon sind verhältnismäßig selten.
3. NK. Die Wandungen sind dünner als bei NP. Die Drehungen fehlen nicht selten, bisweilen liegen in diesen Fällen Verdickungen der Wände vor. Auch weit auseinandergezogene Drehungsbilder finden sich reichlicher als bei PK.

Nach diesem Befunde könnte man sagen, daß die Probe PK den günstigsten Befund ergibt. Sie zeichnet sich durch Regelmäßigkeit aus und übertrifft in der gleichmäßigen und häufigen Ausbildung starker Drehung die beiden anderen Proben. Es muß erwartet werden, daß dieses Material spinntechnisch vor den anderen Vorteile besitzt, weil die gleichmäßige Kräuselung eines mäßig verdickten und regelmäßigen Haares als erwünschte Eigenschaft erscheint. Diesem Befunde gegenüber sind die Proben, die N enthalten, entschieden weniger vorteilhaft. Die N-Düngung wirkt, wie man hiernach wohl sagen darf, dahin, daß das Haar eine gewisse Massigkeit (oft durch Wandverdickung angedeutet) erhält. Es ist hierbei ganz besonders interessant, daß der massigere Wuchs des Haares sichtlich in einer Beziehung zu dem Grade der Drehung steht.

Nachdem sich diese Andeutungen ergeben hatten, wurde der Versuch gemacht, die Drehung selbst in irgendeiner Weise zu messen bzw. zahlenmäßig zum Ausdruck zu bringen. Es wurden statistische Untersuchungen an den Proben angestellt mit dem Zweck, die Zahl der Drehungen des Bandes auf eine bestimmte Länge festzulegen. Es sind zu diesem Zwecke jeweils 50 Messungen aus einer Probe vorgenommen worden und von diesen ist ein Mittel berechnet worden. Hierbei ergibt sich durchschnittlich die höchste Zahl von Drehungen insgesamt bei der Düngung NP. Der zweithöchste Wert ergibt sich für NK. Es folgt dann in kurzem Abstande PK und die ungedüngte Probe. Die Durchschnittswerte umgerechnet auf 1 mm ergeben als Zahl der Drehungen für

NP	12,63
NK	10,13
KP	10,09
O	9,91

Hiernach kann also die Drehungszahl doch nicht als ausschlaggebend benutzt werden, denn, wie oben betont, sind die Wanddickenverhältnisse bei der Probe NP nicht so günstig, wie sie bei der Probe NK und PK erscheinen. Vielleicht könnte man sich dabei vorstellen, daß die zarteren Haare der Probe PK im Präparat gelegentlich so weit gedrückt werden, daß das Haar leichter durch das Gewicht des Deckglases auseinandergezogen wird, als es bei den starreren Proben mit N der Fall sein mag. Aber hierüber konnte nicht vollkommene Klarheit verschafft werden. Dazu wäre es nötig, so viel Material einer einheitlichen Düngung zu haben, daß man spinntechnische Versuche anstellen könnte, die über den Grad der Kräuselung in Verbindung mit der Zartheit des Haares praktischen Aufschluß geben und möglicherweise die Probe PK vorteilhaft von den N-Proben abheben könnten.

Bei den aus reifen Kapseln entnommenen Haarproben ist nun von vornherein schwer festzustellen, ob Unterschiede, wie der eben angegebene, nicht vielmehr auch auf den gesamten Entwicklungszustand, den die Pflanzen in der besonderen Düngung erreicht haben, zurückzuführen sind, und ob nicht infolgedessen die zum Vergleich herangezogenen Materialien genau genommen ungleichwertig sind. Aus diesem Grunde wählten wir jugendliche Proben aus weniger reifen Kapseln zum Vergleich, um an diesen erneute Feststellungen über die Entwicklung der Haarbildung auf der Samenschale zu machen. Auch diese Proben stammten von Versuchen im Tropenhaus Berlin-Lichterfelde.

Die dabei gegebene Düngung war die folgende (Tabelle 1):

Tabelle 1. Düngungsübersicht des Baumwollversuchs Berlin-Lichterfelde.

Probe 1	Ungedüngt		
„ 2	NP	4,0 g N in NH_4NO_3	
		5,0 g P_2O_5 in $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ pro Quadratmeter	
„ 3	NP + KCl	wie vor, dazu	12,0 g K_2O in KCl
„ 4	NP + KNO_3	„ „ „	12,0 g K_2O in KNO_3
„ 5	NP + K_2SO_4	„ „ „	12,0 g K_2O in K_2SO_4
„ 6	NP + $K_2Mg(SO_4)_2$	„ „ „	12,0 g K_2O in $K_2Mg(SO_4)_2$

An den Haaren der betreffenden Proben selbst war zunächst wiederum kein gleichmäßiger Unterschied bestimmter Richtung zu erkennen. Wohl aber stellten sich im Laufe der Untersuchung in folgenden 2 Punkten greifbare Unterschiede heraus:

1. Die Oberfläche der Samen war in den verschiedenen Proben teils eben, teils mehr oder weniger rauh. Kein Unterschied war zu bemerken beim Vergleich der Proben NP und NP + KCl, NP + KCl und NP + KNO_3, NP + KCl und NP + $K_2Mg(SO_4)_2$, NP + KNO_3 und NP + $K_2Mg(SO_4)_2$. NP erwies sich rauher als NP + K_2SO_4, NP + KCl rauher als NP + K_2SO_4, NP + KNO_3 rauher als NP + K_2SO_4. Als die wenigst rauhe Probe erweist sich (NP + K_2SO_4). Die Gesamtvergleiche ergeben sich aus folgender Übersicht, in der das Zeichen > bedeutet, daß die erste Probe eine rauhere Oberfläche aufweist (Tabelle 2):

Tabelle 2. Oberflächenbeschaffenheit von Samenkapseln verschieden gedüngter Baumwolle.

1 > 2				
1 > 3	2 = 3			
1 > 4	2 > 4	3 = 4		
1 > 5	2 > 5	3 > 5	4 > 5	
1 > 6	2 > 6	3 = 6	4 = 6	5 = 6

Es ist wahrscheinlich, daß nach dieser verschiedenartigen Beschaffenheit der Oberfläche auch die Ansatzmöglichkeiten der Haare Unterschiede aufweisen. Aufsichtsbilder von Stückchen der Samenschale, die im übrigen bei den stärker rauhen Proben begreiflicherweise sehr unklare Bilder ergaben (helle und dunkle Stellen), boten wenig Greifbares. Dagegen ergab sich für die Art und Form der Ansatzstellen ebenso ein bezeichnendes Bild in den einzelnen Proben wie für die Häufigkeit der Haaransätze (Abb. 99—104).

Die Häufigkeit der Haaransätze ließ sich auf diese Weise an kleinsten Oberflächenstücken mikroskopisch einigermaßen genau und gleichbleibend feststellen.

Es wurden zu dieser Untersuchung von jeder Probe von zwei und drei verschiedenen Samen gleichartige Stellen der Oberfläche (gleich orientiert am ganzen Samenkorn) ausgezählt und die Zahl der Haaransätze auf gleiche Flächengröße berechnet (Tabelle 3).

Tabelle 3. Durchschnittliche Zahl der Haaransätze auf 0,2 qmm Samenoberfläche.

Probe 1	(Ungedüngt)	9	Haaransätze
„ 2	NP	12	„
„ 3	NP + KCl	12	„
„ 4	NP + KNO_3	13	„
„ 5	NP + K_2SO_4	9	„
„ 6	NP + $K_2Mg(SO_4)_2$	11	„

Hieraus ist zu entnehmen, daß die Düngungen 2, 3, 4 und 6 eine Vermehrung der Haaransätze ohne erkennbare Größenzunahme der Samen selbst aufweisen, während ungedüngt und Probe 5 eine niedrigere Ziffer besitzen. Dazu ist zu bemerken, daß die Probe 5 allerdings besonders schwach entwickelte Kapseln besitzt. Es kann daher gesagt werden, daß die Düngungen 2, 3, 4, 6 schon im jugendlichen Zustand der Samen eine Vermehrung der Haare bedingen, wahrscheinlich aber auch im ganzen stärkeres Wachstum bedeuten.

Das einzelne Haar der Baumwolle ist eine ausgewachsene Oberhautzelle, die sich fast immer nur vereinzelt in einem gewissen Umkreis aus den übrigen durch ihre Ausstülpung heraushebt, so daß die Nachbar-

zellen von allen Seiten nach dieser Haarbildung wie zu einem Mittelpunkt hin sternförmig angezogen werden. So entsteht für die Basis

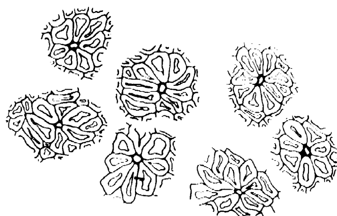


Abb. 99. Ungedüngt. — No Manure.

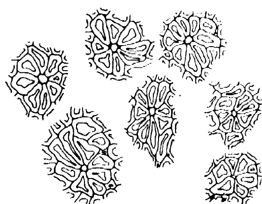


Abb. 100. NP.



Abb. 101. NPK (K als KCl).

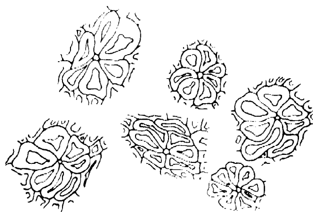


Abb. 102. NPK (K als KNO_3).

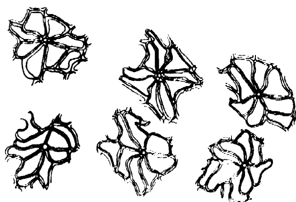


Abb. 103. NPK (K als K_2SO_4).

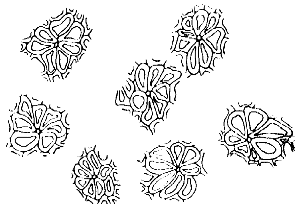


Abb. 104. NPK (K als $K_2Mg(SO_4)_2$).

Abb. 99—104. Oberfläche unreifer Baumwollsamen.
Surface of immature cotton seed.

eines jeden Haares eine Sternfigur mit der Haaransatzstelle als Mittelpunkt und die mikroskopischen Oberflächenbilder zeigen jeweils diese Sternbilder in bestimmten Abständen voneinander als den Ausdruck für die Häufigkeit der Haarbildung auf gleicher Fläche. (Ganz ge-

legentlich kommen bei allen Proben auch zwei unmittelbar zusammenliegende Haaransätze nebeneinander, also zwei solche Ansatzstellen als Mittelpunkt eines gemeinsamen Sternes vor, doch ist hinsichtlich des Vorkommens dieser Doppelsterne nichts für Einzelfälle Bezeichnendes zu erkennen.)

Während nun aber in den Haaren selbst nach allen vorangegangenen Untersuchungen keine Wanddickenunterschiede bei den verschiedenen Düngungen zu sehen sind, zeigen die Nachbarzellen, die den Stern bilden, sehr klare Unterschiede bei den einzelnen Proben. Statt aller weiteren Ausführungen sei verwiesen auf die Abb. 99—104 mit den entsprechenden Zeichnungen der Haarsterne der einzelnen Proben. Sämtliche Bilder sind Durchschnittsergebnisse von verschiedenen Samen der betreffenden Proben und sind bei gleicher Vergrößerung gezeichnet. Es fällt ohne weiteres ins Auge, daß an diesen Zellen sich greifbare Unterschiede der Düngungen erkennen lassen. Daß auch diese mit dem Ausfall der Gesamtentwicklung bzw. dem Reifegrad auch bei den unreifen Kapseln Hand in Hand gehen, läßt Probe 5 (NP + K_2SO_4) erkennen, die sich durch auffallend dünne Wände von allen anderen unterscheidet (es sind die oben erwähnten besonders schlecht entwickelten Kapseln). Die Probe Nr. 4, NP + KNO_3 (mit der höchsten Zahl von Haaransätzen auf gleicher Fläche) besitzt ungewöhnlich starke Wände mit engem Zellhohlraum, Probe 2 (NP) auffallend kleine Zellen, ähnlich auch Probe 3 (NP + KCl) bei gleichzeitig starker Verkrümmung der Sternzellen.

Unsere Untersuchungen über den Ausbau einer Methode zur Qualitätsprüfung der Baumwolle sind noch nicht abgeschlossen. Wir behalten uns vor allem vor, sie noch durch Untersuchungen zu ergänzen, bei denen die von SAKOSTSCHIKOFF (4) angegebenen neuesten Bestimmungsmethoden für den Reifegrad der Baumwollhaare einbezogen werden.

Im Anschluß an unsere Untersuchungen an der Baumwollfaser unterwarfen wir auch die Baumwollsaat von verschieden gedüngten Parzellen des in der Einleitung erwähnten Versuches von MADDUX einer Analyse. Bei diesem Versuche waren die Samen der Parzellen mit reichlicher Kaligabe schon im äußeren Aussehen in bezug auf Größe und Gleichmäßigkeit den Samen von den ungenügend mit Kali gedüng-

ten Parzellen überlegen. Wie die Zahlen in der Tabelle 4 zeigen, hat die Analyse bestätigt, daß durch die Kalidüngung die Qualität der Samen verbessert wurde, da die Samen von den Kaliparzellen einen beträchtlich höheren Fettgehalt aufwiesen als die von den mit unzureichender Kalidüngung versehenen Teilstücken.

Tabelle 4. Chemische Zusammensetzung von Baumwollsaat.

Kali-Düngung lbs/acre	H_2O %	Trockensubstanz %	Reinasche %	K_2O %	Roheiweiß %	Rohfaser %	N-freie Extraktstoffe %	Rohfett %
12	7,13	92,87	3,74	1,25	23,07	25,7	27,0	13,3
262	6,67	93,33	3,72	1,28	22,86	24,9	24,0	17,8

Literatur.

1. JACOB, A., u. V. COYLE, The use of Fertilisers in tropical and subtropical agriculture, London 1931, S. 127.
2. MADDUX, HENRY T., Commercial Fertilizer, Januar 1933.
3. TOBLER FR., Ernährung d. Pflanze Bd. 30, H. 19, S. 313 (1934).
4. SAKOSTSCHIKOFF, Faserforschung, Bd. 11, Heft 1.

Zusammenfassung.

Bei der Düngung der Baumwolle hat sich nach den in den Vereinigten Staaten gemachten Erfahrungen eine reichere Bemessung der Kaligaben als notwendig erwiesen, um das Auftreten von Cotton Rust zu verhüten, der nicht nur die Erträge, sondern auch die Qualität der Fasern beeinträchtigt. Um die für die Baumwollkultur wichtige Frage der etwaigen Möglichkeit einer Verbesserung der Faserqualität durch Kalidüngung genauer verfolgen zu können, bemühten wir uns, eine Methode auszuarbeiten, die es gestattet, den Einfluß der Kalidüngung auf die Beschaffenheit der Faser zu messen. Um durch Bodenunterschiede bedingte Verschiedenheiten auszuschalten, zogen wir in unserem Tropenhause Baumwolle heran. Abgesehen von der verschiedenen Düngung waren die Pflanzen unter in jeder Hinsicht gleichmäßigen Bedingungen gewachsen. Die Untersuchung der gewonnenen Baumwollfasern führte Herr Professor TOBLER, Dresden, durch, dessen Methodik sich bei Flachs als äußerst brauchbar erwiesen hatte.

Wie von vornherein zu erwarten war, bot die Auswertung dieser Methodik für die Untersuchung der Baumwolle weit größere Schwierig-

keiten als bei Flachs. So konnten die zunächst vorgenommenen statistischen Auswertungen der Stapeldiagramme kein eindeutiges Bild geben. Messungen der Drehung der Faser, die bei der spinntechnischen Verarbeitung eine gewisse Rolle spielt, ergaben zwar Andeutungen dafür, daß durch Kali eine Verbesserung bewirkt wird; die Durchschnittswerte der Drehzahlen einer größeren Anzahl von Fasern zeigten aber, daß dieser Befund nicht einwandfrei gesichert war. Größere Aussicht für die Beurteilung des Einflusses der Düngung bot eine Betrachtung der Oberfläche unreifer Samen. Da das einzelne Haar der Baumwolle eine auswachsende Oberhautzelle ist, zu der die Nachbarzellen von allen Seiten her sternförmig angezogen werden, ergeben sich für die Basis eines jeden Haares charakteristische Figuren mit der Haaransatzstelle als Mittelpunkt. Während bei den Haaren selbst keine Wanddickenunterschiede bei den verschiedenen Düngungen festzustellen waren, zeigten die Nachbarzellen, die diese Figuren bilden, sehr klare Unterschiede bei den verschiedenen Düngungsarten. So wies z. B. die Probe, welche Stickstoff, Phosphorsäure und Kali in Form von Kalisalpeter erhalten hatte, gut entwickelte, starke Wände mit engen Zellhohlräumen auf, während die mit kalifreier Düngung versehenen Proben, allerdings auch die Probe mit Chlorkalium, auffallend kleine Zellen zeigten. Zur weiteren Aufklärung der Frage der Beeinflussung der Qualität der Baumwolle durch Kalidüngung beabsichtigen wir, Bestimmungen des Reifegrades der Baumwollhaare heranzuziehen.

Bei der Untersuchung der Baumwollsaat ergab sich, daß durch Kalidüngung der Gehalt an Rohfett erhöht wurde.

SUMMARY.

The experience of cotton growers in the United States has shown that it is necessary to apply larger amounts of potash to this crop in order to prevent the occurrence of cotton rust, a disease affecting not only the yield but also the quality of the cotton. In order to ascertain more accurately the extent to which it is possible to influence the quality of cotton fibre by potash manuring, we have attempted to work out a method of measuring differences in the quality of the fibre. The

cotton plants, used in these investigations, were grown in our tropical glass house in order to eliminate the effect of soil variation. Apart from differences in the manurial treatment the plants were grown under constant conditions. On harvesting the cotton was sent for examination to Professor TOBLER, of Dresden, whose investigational methods have already been shown to give reliable results in his research work on flax.

As was to be expected, much greater difficulties were encountered in the application of these methods to cotton than was the case with flax. The examination of the staple diagrams yielded no definite results, although measurements of the number of twists per unit length, a factor influencing the spinning quality of cotton, indicated a probable improvement due to potash manuring. From the average values obtained from measurements carried out on a larger number of fibres it would appear that no definite conclusions can be drawn from this data.

The examination of the surfaces of unripe seeds affords better prospects of obtaining more conclusive data regarding the effect of manuring. The single hairs of which the cotton fibre is composed are elongated epidermis cells, from the bases of which the neighbouring cells radiate in all directions, forming characteristic patterns with the base of the hair as centre. Whereas in the case of the hairs no differences in the thickness of the cell wall could be detected, a definite effect of manuring on the thickness of the cell wall was discovered in the case of the neighbouring cells round the base of the hair. For example, in the case of a sample of cotton from plants treated with a complete fertiliser containing potash in nitrate form, it was found that these cells were well developed with strong walls and the intercellular spaces narrow; on the other hand in the sample from plants receiving no potash and from those receiving potash in chloride form the cells were remarkably small. It is intended to continue these investigations applying other methods with a view to obtaining a further insight into the effect of potash fertilisers on the quality of cotton.

Analyses of the seed showed that the content of crude fat in cotton seed was increased by applications of potash.

III. Ernährungsphysiologische Untersuchungen über den Einfluß der Handelsdünger auf die chemische Zusammensetzung und den Wert von Nahrungs- und Futtermitteln.

Der Handelsdünger ist nicht Ersatz, sondern Ergänzung des Stallmistes. Er soll den Pflanzen die Nährstoffe Stickstoff, Phosphorsäure, Kali und Kalk zuführen, die der Pflanze bei alleiniger Verwendung von Stallmist unter den herrschenden Wirtschaftsverhältnissen nicht in genügender Menge zu Gebote stehen. Wenn in Laienkreisen noch immer die Befürchtung auftaucht, es sei für die Pflanze ungünstig, wenn sie Kali, Stickstoff und Phosphor nicht in den Verbindungen dieser Elemente, wie sie im Stallmist enthalten sind, sondern in Form mineralischer Stoffe bzw. auf synthetischem Wege gewonnener Verbindungen erhält, so ist diese Befürchtung vom wissenschaftlichen Standpunkt selbstverständlich unbegründet. Immerhin verdient die Tatsache Beachtung, daß der Stallmist der Pflanze neben den Hauptnährstoffen noch andere Elemente darbietet, die für ihr Gedeihen auch wesentlich sein können, z. B. Magnesium, Mangan, Bor, Kupfer. Da diese Elemente in den üblichen Formen der Handelsdünger nicht enthalten sind, könnte die Möglichkeit bestehen, daß die Pflanze an ihnen Mangel leidet und dadurch in ihrer Entwicklung geschädigt wird. Diese Befürchtung ist in der Tat nicht unbegründet. So hat z. B. Magnesiummangel im Boden dazu geführt, daß eine Wirkung der Kalidüngung manchmal ausblieb, es sei denn, daß man für die Düngung magnesiahaltige Kalidünger, wie z. B. Kalimagnesia oder andere Kalisalze mit Magnesiagehalt benutzte. Auch hinsichtlich der Jodversorgung der Pflanze wurden im Hinblick auf den Ersatz des jodhaltigen Chilesalpeters durch die jodfreien synthetischen Stickstoffdünger ähnliche Befürchtungen geäußert; eine Nachprüfung zeigte aber, daß schon der Jodgehalt der Phosphorsäuredünger und der Kalidünger zur Deckung des Jodbedürfnisses der Pflanzen auch in den seltenen Fällen vollkommen ausreichend ist, in welchen der natürliche Jodgehalt des Bodens für die Versorgung der Pflanze nicht ausreicht. Immerhin wird es Aufgabe der Agrikulturchemie sein müssen, auf die

Versorgung der Pflanzen mit den auxiliären Stoffen zu achten, wenn sie solcher auch nur in geringen Mengen bedürfen.

Ernsthaft auseinandersetzen muß man sich mit einer anderen Befürchtung, nämlich der, daß durch unrichtige Anwendung der Handelsdünger das Verhältnis der einzelnen Nährstoffe zueinander verschoben, die „Harmonie der Nährstoffe“ also gestört werden kann. Es ist nicht zu bestreiten, daß eine einseitige Anwendung einzelner Handelsdüngerarten die Qualität der Ernten ungünstig beeinflussen kann. Wie die Agrikulturchemie lehrt, sollen schon im Interesse der Sicherung guter Erträge die einzelnen Nährstoffe der Pflanze stets in Form einer harmonischen Volldüngung verabreicht werden, die dem besonderen Bedarf der Pflanze und dem Nährstoffgehalt des Bodens angepaßt ist; denn nur eine solche Volldüngung verbürgt dauernd gute Erträge. Daß eine derartige Volldüngung keine Schädigungen der Qualität verursachen kann, wird allgemein zugegeben, dagegen ist der Einwand offen, ob und wieweit es unter praktischen Verhältnissen möglich ist, diesen Idealfall zu verwirklichen. Die Düngung, die der Praktiker gibt, wird sich mehr oder weniger nach allgemeinen Richtlinien für die betreffende Pflanzenart und den betreffenden Boden richten, die wohl annähernd zutreffen, aber unmöglich in jedem Falle 100prozentig dem Bedarf der Pflanzen entsprechen.

Wir haben uns deshalb die Aufgabe gestellt, zu untersuchen, welchen Einfluß eine verschiedene Zusammensetzung der Düngung auf die Ernteprodukte ausübt. Besonderes Augenmerk richteten wir dabei auf die Untersuchung der Wirkung von Düngungen mit einerseits unzureichendem, andererseits übersteigert hohem Kaligehalt im Vergleiche zur Wirkung einer Volldüngung mit normaler — harmonischer — Kaligabe. Wir suchten dabei zunächst durch die chemische Analyse der Ernteprodukte festzustellen, ob und in welchem Umfange die Zusammensetzung der Pflanze sich einer veränderten Zusammensetzung der Düngung anpaßt. Wir prüften dann weiterhin, welchen Einfluß eine solche Veränderung der Ernährung der Pflanze auf die Güte der Ernteprodukte hat, wobei wir zum Teil auf direkte Feststellungen durch Geschmacksprüfungen angewiesen waren. Endlich prüften wir noch durch den Tierversuch den Einfluß der Handelsdünger auf die Bekömmlichkeit der Nahrung.

INVESTIGATIONS ON THE INFLUENCE OF COMMERCIAL FERTILISERS ON THE CHEMICAL COMPOSITION AND NUTRITIONAL VALUE OF FOOD AND FEEDIND STUFFS.

Artificial fertilisers are not substitutes for farmyard manure but are used to supplement farmyard manure by supplying the additional amounts of the nutrients nitrogen, phosphoric acid, potash and lime, necessary to ensure an adequate supply of plant food to the crop. It has sometimes been maintained that the plant may be unfavourably affected when nitrogen, phosphoric acid and potash are supplied to it in the form of mineral or synthetic compounds instead of in the form in which they are contained in farmyard manure, but there is no scientific evidence to support this view. It must, however, be borne in mind that in addition to the three chief fertiliser constituents, farmyard manure also contains other elements e.g. magnesium, manganese, boron, copper, which are not usually contained in commercial fertilisers, but may be of importance to plant growth. It is, therefore, possible that the plant may suffer from a deficiency of one or more of these elements, a possibility for which scientific evidence is not entirely lacking. For instance it has been found that on soils deficient in magnesium potash failed frequently to give results, except in cases in which potash fertilisers containing magnesium, e.g. sulphate of potash magnesia, were used.

The substitution of synthetic nitrogen fertilisers free from iodine for Chile nitrates has given rise to similar fears with regard to iodine deficiency. It has been shown, however, that the iodine content of the ordinary phosphatic and potassic fertilisers is sufficient to meet the requirements of crops for this element, even in the rare cases, in which the content of natural iodine compounds in the soil is insufficient for this purpose. Nevertheless, agricultural scientists must continue to investigate the needs of the various crops for such accessory elements, even though they may be required in very minute quantities.

The faulty application of commercial fertilisers involves, however, a much more serious danger than the above mentioned, viz. that it may disturb the equilibrium between the different nutrients and thus

impair the growth of the crop. It cannot be denied, that unbalanced fertilising may have an adverse effect on the quality of agricultural produce. On this account agricultural scientists advocate the use of complete fertilisers containing the different nutrients in the proportions, in which they are required by the crops and soils in question. That the use of such fertilisers would ensure satisfactory yields and good quality, is beyond doubt but it is by no means certain to what extent it is possible to realise this ideal under practical conditions. In choosing the composition of the fertilisers for his particular crops and soils, the practical farmer is guided by general principles, so that, although the composition of the fertiliser may be approximately correct, it practically does not exactly correspond to the actual requirements of the crops and soils in question.

We have, therefore, undertaken an investigation of the influence of fertiliser composition on the quality of agricultural produce. Particular attention was paid to the effect of fertilisers containing inadequate and excessive amounts of potash as compared with that of a fertiliser properly balanced with respect to potash. Firstly we endeavoured by means of chemical analysis to determine the extent to which the chemical composition of plants may be influenced by manuring. The next step was to ascertain the effect of variations in the chemical composition of the plant on the quality of the produce. Lastly we carried out nutritional tests with animals with the view to determining the effect of commercial fertilisers on the nutritional value of food and feeding stuffs.

1. Chemische Zusammensetzung der Ernteprodukte.

Um zunächst allgemein festzustellen, auf welche Weise Veränderungen in der Nährstoffversorgung der Pflanze zu Veränderungen in der Zusammensetzung ihrer einzelnen Teile führen, stellten wir Gefäßversuche in nährstofffreiem Hohenbockaer Sand an, da wir es auf diese Weise besser als bei Verwendung von Böden in der Hand hatten, die Nährstoffversorgung der Pflanze durch Zuführung bestimmter Mengen der einzelnen Nährstoffe beliebig einzustellen.

Der als Versuchspflanze benutzte Hafer wurde in Gefäßen gezogen, die mit je 9,7 kg trockenem Sand und 0,1 kg trockenem gereinigtem Torfmull beschickt wurden. Die Wasserkapazität dieses Gemisches betrug 34,8% des Trockengewichtes. Alle Gefäße bekamen

eine Grunddüngung mit 0,566 g NaCl, 3,0 g $CaCO_3$, 1,0 g $MgCO_3$ und 10 ccm $Fe(OH)_3$-Suspension.

Die Stickstoffgaben betrugen $N_1 = 0,4$ bzw. $N_2 = 0,8$ bzw. $N_3 = 1,2$ g N in Form von NH_4NO_3. Die Phosphorsäuregaben waren nur zweifach gestaffelt, und zwar $P_1 = 0,4$ g P_2O_5 bzw. $P_2 = 0,8$ g P_2O_5 in Form von $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$. Die Kaligaben waren: $K_1 = 1,0$ g K_2O, $K_2 = 2,0$ g K_2O, $K_3 = 3,0$ g K_2O in Form von K_2SO_4.

Bei den verschiedenen Düngungsarten schwankte das Verhältnis der Nährstoffe N:P:K wie 1:(1/3 bis 2): (5/6 bis 7,5). Eine Zusammenstellung der Versuchsergebnisse findet sich in Tabelle 1.

In Abb. 105 ist der prozentuale Gehalt der Trockensubstanz an Kali, Stickstoff und Phosphorsäure für die verschiedenen Nährstoffgaben wiedergegeben. Was zunächst das Stroh betrifft, so steigt mit steigender Kaligabe der Kaligehalt des Strohes ziemlich stark, und zwar von 1,2 bis auf 4,0 %. Mit steigenden Stickstoffgaben fällt der Kaligehalt des Strohes sehr stark ab, was als Folge davon zu betrachten ist, daß durch die steigenden Stickstoffgaben die Stroherträge stark erhöht worden sind. Der Stickstoffgehalt des Strohes erweist sich als unabhängig von der Kali- und Stickstoffdüngung. Dieses Verhalten ist ebenfalls erklärlich, da der in der Düngung zugeführte Stickstoff zur Steigerung der Erträge verbraucht wurde. Der Phosphorsäuregehalt des Strohes ist von der Kalidüngung unabhängig, fällt dagegen mit steigenden Stickstoffgaben in ähnlicher Weise ab wie der Kaligehalt.

Während die Zusammensetzung des Strohes große Schwankungen aufweist, liegen die Verhältnisse bei der Zusammensetzung des Korns wesentlich anders. Der Kaligehalt des Korns ist ziemlich konstant und wird weder durch die Kaligabe noch durch die Stickstoff- oder Phosphorsäuregabe eindeutig beeinflußt. Der Phosphorsäuregehalt des Korns ist ebenfalls bei der höheren Phosphorsäuregrunddüngung konstant; bei der niederen Phosphorsäuregabe fällt er dagegen mit steigenden Stickstoffgaben etwas ab. Der Stickstoffgehalt des Korns steigt mit steigenden Stickstoffgaben, erweist sich dagegen im allgemeinen als unabhängig von der Kaligabe. Nur bei den höchsten Stickstoff- und Phosphorsäuregaben hat es den Anschein, als ob der Stickstoffgehalt des Korns durch steigende Kaligaben herabgedrückt wird, vielleicht infolge einer vermehrten Ablagerung von Stärke im Korn, vielleicht ist aber auch der Stickstoffgehalt deshalb niedriger, weil sich bei K-Mangel als Abbau- oder Zwischenprodukte von Eiweiß N-reichere Amine bilden.

Nährstoffgehalt in Prozent

—— Kali ---- Stickstoff -·-·- Phosphorsäure

% im Korn

K	2K	3K	K	2K	3K	K	2K	3K	K	2K	3K	K	2K	3K	K	2K	3K
	N			2N			3N			N			2N			3N	
				P									2P				

% im Stroh

K	2K	3K	K	2K	3K	K	2K	3K	K	2K	3K	K	2K	3K	K	2K	3K
	N			2N			3N			N			2N			3N	
				P									2P				

Abb. 105. Vegetationsversuche zu Hafer. Nährstoffgehalt in Prozent.
Pot experiments on oats. Percentage of nutrients.

Tabelle 1. Gefäßversuch zu Hafer mit gesteigerten Nährstoffgaben.

Düngung	Kornertrag Trockensubstanz g/Gefäß	Gehalt der Körner			Nährstoffaufnahme durch Körner			Strohertrag Trockensubstanz g/Gefäß	Gehalt des Strohs			Nährstoffaufnahme durch Stroh			Gesamternte an Trockensubstanz g/Gefäß	Nährstoffaufnahme durch Gesamternte		
		K_2O %	P_2O_5 %	N %	K_2O g/Gefäß	P_2O_5 g/Gefäß	N g/Gefäß		K_2O %	P_2O_5 %	N %	K_2O g/Gefäß	P_2O_5 g/Gefäß	N g/Gefäß		K_2O g/Gefäß	P_2O_5 g/Gefäß	N g/Gefäß
K N P	21,71	0,84	0,82	1,10	0,1824	0,1780	0,2388	26,87	3,79	0,34	0,25	1,0452	0,1182	0,0672	48,58	1,2276	0,2962	0,3060
2 K N P	21,11	0,91	0,72	1,10	0,1921	0,1520	0,2322	24,90	3,92	0,26	0,22	0,9765	0,0688	0,0548	46,01	1,1686	0,2168	0,2870
3 K N P	21,46	0,76	0,74	1,24	0,1631	0,1588	0,2661	27,07	4,27	0,43	0,27	1,1559	0,1164	0,0731	48,53	1,3190	0,2752	0,3392
K 2 N P	38,92	0,69	0,63	1,29	0,2685	0,2452	0,5021	41,13	1,88	0,10	0,25	0,7732	0,0411	0,1028	80,05	1,0417	0,2863	0,6049
2 K 2 N P	36,24	0,87	0,70	1,31	0,3153	0,2537	0,4747	40,86	3,72	0,09	0,29	1,5200	0,0368	0,1185	77,10	1,8353	0,2905	0,5932
3 K 2 N P	39,19	0,69	0,62	1,30	0,2704	0,2430	0,5095	44,70	3,66	0,06	0,27	1,6360	0,0268	0,1207	83,89	1,9064	0,2698	0,6302
K 3 N P	43,22	0,91	0,47	1,70	0,3916	0,2022	0,7315	44,59	1,22	0,05	0,29	0,5440	0,0223	0,1293	87,62	0,9356	0,2245	0,8608
2 K 3 N P	42,00	0,67	0,45	1,77	0,2814	0,1890	0,7434	48,17	2,82	0,06	0,27	1,3584	0,0289	0,1301	90,17	1,6398	0,2179	0,8735
3 K 3 N P	47,42	0,85	0,48	1,57	0,4031	0,2276	0,7445	51,04	3,75	0,06	0,30	1,9140	0,0306	0,1531	98,46	2,3171	0,2582	0,8976
K N 2 P	21,39	0,70	0,85	1,09	0,1497	0,1818	0,2332	25,14	3,13	1,31	0,25	0,7869	0,3293	0,0629	46,53	0,9366	0,5111	0,2961
2 K N 2 P	20,37	0,87	0,79	1,10	0,1772	0,1609	0,2241	25,21	5,11	1,02	0,27	1,2882	0,2571	0,0681	45,58	1,4654	0,4180	0,2922
3 K N 2 P	20,15	0,78	0,82	1,13	0,1572	0,1652	0,2277	26,27	4,56	1,15	0,32	1,1979	0,3021	0,0841	46,42	1,3551	0,4673	0,3118
K 2 N 2 P	37,25	0,80	0,79	1,33	0,2980	0,2943	0,4954	39,10	1,96	0,39	0,29	0,7664	0,1525	0,1134	76,35	1,0644	0,4468	0,6088
2 K 2 N 2 P	39,57	0,86	0,76	1,18	0,3403	0,3007	0,4669	41,91	3,03	0,34	0,28	1,2699	0,1425	0,1173	81,48	1,6102	0,4432	0,5842
3 K 2 N 2 P	39,70	0,59	0,74	1,18	0,2342	0,2938	0,4685	45,48	3,11	0,38	0,27	1,4144	0,1728	0,1228	85,18	1,6486	0,4666	0,5913
K 3 N 2 P	46,84	0,85	0,75	1,62	0,3981	0,3513	0,7588	46,27	1,58	0,19	0,31	0,7311	0,0879	0,1434	93,11	1,1292	0,4392	0,9022
2 K 3 N 2 P	47,89	0,79	0,77	1,53	0,3783	0,3688	0,7327	51,18	2,69	0,25	0,29	1,3767	0,1279	0,1484	99,07	1,7550	0,4967	0,8811
3 K 3 N 2 P	49,15	0,82	0,81	1,53	0,4030	0,3981	0,7520	51,11	4,75	0,30	0,36	2,4277	0,1533	0,1840	100,26	2,8307	0,5514	0,9360

Im Stroh bzw. den Blättern folgt die Pflanze weitgehend der Verschiebung der Nährstoffversorgung; eine über ihren Bedarf hinausgehende Zufuhr eines Nährstoffs erscheint hier als Luxusaufnahme.

Um diesen Befund richtig zu deuten, ist es gut, wenn wir uns vergegenwärtigen, um welche Düngermengen es sich handelt. Wenn wir auf 10 kg Boden 2 und 3 g K_2O gegeben haben, so bedeutet dies, umgerechnet auf 1 ha, bei einem Gewicht der Ackerkrume von 3000000 kg eine Düngung mit 600 und 900 kg K_2O. Die Stickstoffgaben von 0,8 und 1,2 g je Gefäß ergeben bei der Umrechnung auf den Hektar eine Düngung von 240 und 360 kg Stickstoff; die Phosphorsäuredüngung berechnet sich zu 120 bzw. 240 kg P_2O_5. Es handelt sich also um Düngergaben von einer Höhe, wie sie in der Praxis nicht vorkommen, und die Versuchsergebnisse können daher nicht ohne weiteres auf die Verhältnisse der Praxis übertragen werden; sie stellen lediglich das Ergebnis einer ganz extremen Verschiebung der Nährstoffzufuhr durch Düngung dar.

Um eine Antwort auf die für die Praxis wichtige Frage, welche Veränderungen unter den Bedingungen des feldmäßigen Anbaues erwartet werden können, zu erhalten, haben wir ein umfangreiches Analysenmaterial von Ernteprodukten aus Feldversuchen geprüft, welches in der Hauptsache von Düngungsversuchen mit gestaffelten Kaligaben stammt. Die Untersuchung mußte sich infolgedessen auf die Frage beschränken, welchen Einfluß die Kalidüngung auf die Zusammensetzung der Ernteprodukte ausübt.

In den Tabellen sind typische Einzelfälle aus größeren Versuchsreihen wiedergegeben.

Um das Maß der Allgemeingültigkeit der beobachteten Veränderungen beurteilen zu können, wurden auch statistische Durchschnittswerte der gesamten Versuchsreihen mit beigefügt. Diese Durchschnittswerte lassen allerdings den Einfluß der Düngung nicht so deutlich erkennen, weil dabei Versuche zusammengefaßt sind, die unter verschiedenen Umweltbedingungen angelegt waren, so daß der Einfluß der Düngung durch die Standortsunterschiede zum Teil überdeckt wurde.

a) *Getreide* (Tab. 2).

Bei allen Getreidearten schwankte der Gehalt an Mineralstoffen im Korn in verschiedenen Jahren und auf verschiedenen Böden an und für sich nicht sehr stark. Noch geringer und vollkommen unregelmäßig, also wohl als Versuchsfehler zu betrachten, sind die Veränderungen, die durch die Düngung mit Kali bewirkt wurden. So zeigten die Kaligehalte des Korns, bei denen man am ehesten eine eindeu-

Tabelle 2. Zusammensetzung von Getreide bei verschiedener Düngung (berechnet auf Trockensubstanz).

Ort Boden	Erntejahr	Grunddüngung je ha	Kalidüngung je ha	Korn Reinasche %	Korn K_2O %	Korn P_2O_5 %	Korn N %	Korn Reineiweiß %	Korn Stärke %	Korn Rohfett %	Stroh K_2O %	Ertrag Korn dz/ha	Ertrag Stroh dz/ha
1. Roggen.													
Versuchsstation Lichterfelde	1931	40 kg N (Leunasalpeter)	—	2,45	0,63	0,86	1,61	—	—	—	1,42	34,8	56,6
Sandboden		20 kg P_2O_5 (Superphosphat)	60 kg K_2O (schwefels. Kali)	1,76	0,62	0,80	1,54	—	—	—	1,46	40,2	60,5
			60 kg K_2O (40er Kalisalz)	1,76	0,58	0,83	1,28	—	—	—	1,57	36,0	57,0
			60 kg (Kalimagn.)	1,77	0,58	0,84	1,41	—	—	—	1,59	35,3	61,1
		—	—	1,83	0,58	0,84	1,50	—	—	—	1,53	31,5	48,9
Versuchsstation Lichterfelde Sandboden	1934	50 kg N (Leunasalpeter)	—	1,72	0,64	0,74	1,41	—	—	—	0,81	35,9	60,0
		40 kg P_2O_5 (Superphosphat)	60 kg K_2O (Kalimagn.)	1,85	0,71	0,77	1,27	—	—	—	1,36	28,6	63,0
			120 kg K_2O „	1,84	0,63	0,77	1,15	—	—	—	1,46	31,8	67,7
		—	180 kg K_2O „	1,80	0,62	0,75	1,37	—	—	—	1,50	33,1	69,5
			—	1,76	0,59	0,75	1,39	—	—	—	1,05	29,8	47,7
Ligterink Barlo b. Aalten, Holland	1932	50 kg (Kalksalpeter)	—	—	0,81	—	2,59	—	—	—	0,58	8,0	24,5
		120 kg P_2O_5 (Thomasmehl)	160 kg K_2O (20er Kalisalz)	—	0,84	—	1,59	—	—	—	1,79	32,5	55,0
Versuchsfeld Guttecoven, Holland Löß	1932	40 kg N (Kalksalpeter)	—	—	0,62	—	1,85	—	—	—	—	18,0	36,0
		150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	80 kg K_2O (40er Kalisalz)	—	0,63	—	1,61	—	—	—	—	32,5	62,0
			160 kg K_2O „ „	—	0,65	—	1,61	—	—	—	—	35,0	65,0
2. Weizen.													
Versuchsstation Lichterfelde	1932	50 kg N (Leunasalpeter)	—	1,89	0,59	0,94	1,99	—	—	—	0,90	25,7	47,2
Sandboden		50 kg P_2O_5 (Superphosphat)	80 kg K_2O (Kalimagn.)	1,90	0,58	0,93	1,84	—	—	—	0,94	25,6	45,7
			160 kg K_2O „	1,87	0,58	0,87	1,57	—	—	—	0,88	24,9	48,2
			240 kg K_2O „	1,82	0,59	0,84	1,85	—	—	—	1,09	28,3	51,6
Versuchsfeld Veelervenn, Holland	1932	40 kg N		1,91	0,63	0,95	1,94	—	—	—	1,23	17,7	29,2
Sandboden		150 kg P_2O_5	250 kg K_2O	—	0,64	—	2,31	—	—	—	1,52	—	—
			500 kg K_2O	—	0,60	—	2,11	—	—	—	1,71	—	—
		—	—	—	0,63	—	2,27	—	—	—	1,93	—	—
Versuchsfeld Ammerzoden, Holland Kleiboden	1929	40 kg N (Kalksalpeter)	—	2,45	0,74	0,83	2,44	—	66,05	—	—	23,0	39,0
		150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	80 kg K_2O (40er Kalisalz)	2,45	0,70	1,06	2,48	—	66,47	—	—	26,0	52,0
			160 kg K_2O „ „	2,31	0,66	1,08	2,49	—	67,08	—	—	32,0	58,0
Versuchsfeld Ammerzoden, Holland Kleiboden	1930	45 kg N (Chilesalpeter)	—	—	0,63	0,94	1,71	10,03	65,00	2,21	—	21,0	41,0
		150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	80 kg K_2O (40er Kalisalz)	—	0,62	0,98	1,75	10,15	68,64	2,26	—	25,0	49,0
			160 kg K_2O „ „	—	0,62	0,96	1,71	10,13	68,67	2,27	—	25,0	50,0
Versuchsfeld Kruisland, Holland	1931	40 kg N (Kalksalpeter)	—	—	0,65	—	—	—	—	—	0,65	18,0	—
Leichter Kleiboden		150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	130 kg K_2O (40er Kalisalz)	—	0,63	—	—	—	—	—	1,10	21,0	—
			260 kg K_2O „ „	—	0,64	—	—	—	—	—	2,00	20,0	—

3. Gerste.													
Versuchsfeld Ammerzoden, Holland Kleiboden	1929	40 kg N (Kalksalpeter) 150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	—	3,94	0,66	0,89	2,43	—	49,29	—	—	18,0	38,0
			80 kg K_2O (40er Kalisalz)	3,56	0,71	0,95	2,39	—	53,16	—	—	33,0	52,0
			160 kg K_2O „ „	3,60	0,66	0,86	2,46	—	55,15	—	—	33,0	57,0
Versuchsfeld Hedel, Holland Leichter Kleiboden	1929	40 kg N (Kalksalpeter) 150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	—	3,09	0,64	0,94	2,03	—	57,13	—	—	40,0	44,0
			80 kg K_2O (40er Kalisalz)	3,04	0,69	0,92	1,91	—	59,04	—	—	42,0	50,0
			160 kg K_2O „ „	3,11	0,69	0,94	1,82	—	57,90	—	—	45,0	52,0
Versuchsfeld Ammerzoden, Holland Kleiboden	1930	40 kg N (Chilesalpeter) 150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	—	—	0,68	0,97	2,07	—	54,78	1,48	—	12,5	41,0
			80 kg K_2O (40er Kalisalz)	—	0,72	1,06	2,12	—	55,85	1,49	—	18,0	48,0
			160 kg K_2O „ „	—	0,66	0,97	2,01	—	55,35	1,50	—	19,0	51,0
4. Hafer.													
Versuchsfeld Hedel, Holland Leichter Kleiboden	1929	40 kg N (Kalksalpeter) 150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	—	4,15	0,61	1,05	2,36	—	41,90	—	—	32,0	54,0
			80 kg K_2O (40er Kalisalz)	4,33	0,65	1,03	2,30	—	42,08	—	—	33,0	62,0
			160 kg K_2O „ „	4,28	0,63	1,07	2,22	—	41,87	—	—	36,0	62,0
Versuchsstation Lichterfelde Sandboden	1931	40 kg N (Leunasalpeter) 20 kg P_2O_5 (Superphosphat)	—	2,50	0,74	0,95	1,60	—	—	—	2,95	34,4	49,5
			60 kg K_2O (Chlorkalium)	2,25	0,80	0,93	1,68	—	—	—	3,00	30,4	51,1
			60 kg K_2O (Kalisalpeter)	2,75	0,83	0,94	1,60	—	—	—	3,23	34,6	51,3
			60 kg K_2O (schwefels. Kali)	2,37	0,75	0,94	1,54	—	—	—	2,93	35,6	53,3
			60 kg K_2O (Kalimagn.)	2,03	0,70	0,97	1,63	—	—	—	3,08	35,0	52,9
Versuchsstation Lichterfelde Sandboden	1932	—	—	2,37	0,78	0,95	1,65	—	—	—	3,06	20,2	32,3
		je Gefäß	je Gefäß									g je Gefäß	
		1,2 g (Ammonnitrat) 1,2 g P_2O_5 (Dicalcium phosph.)	—	—	—	—	—	—	—	—	0,31	0,47	12,10
			1 g K_2O (schwefels. Kali)	2,46	0,84	0,89	1,48	—	—	—	1,37	50,55	50,13
			2 g K_2O „ „	4,00	0,68	0,85	1,48	—	—	—	2,83	48,02	49,22
			3 g K_2O „ „	3,52	0,80	0,89	1,67	—	—	—	4,16	44,16	46,26

tige Veränderung erwarten könnte, im Durchschnitt sämtlicher Versuche folgendes Ergebnis (Tabelle 3).

Tabelle 3. Mittlere Kaligehalte des Korns bei verschiedener Kalidüngung.

	NP	NPK	NPK_2
Roggen . . .	0,62	0,63	0,65
Weizen . . .	0,64	0,62	0,60
Gerste . . .	0,72	0,73	0,74
Hafer . . .	0,68	0,63	0,69

Der Stickstoffgehalt des Roggens wurde durch Kalidüngung meist etwas herabgesetzt; es kam aber auch vor, daß bei gesteigerten Kaligaben der Stickstoffgehalt wieder erhöht wurde. Es ist anzunehmen, daß der durch die einseitige NP-Düngung übermäßig erhöhte Stickstoffgehalt des Korns durch die zusätzliche Düngung mit K wieder auf das normale Maß gebracht wurde. Dies zeigen besonders die Versuche, bei denen auch ein ungedüngtes Teilstück vorgesehen war; hier war der Stickstoffgehalt der Volldüngungsteilstücke mit Kali dem der ungedüngten Teilstücke gleich.

Bei Weizen war eine Herabsetzung des Stickstoffgehalts

Tabelle 4. Zusammensetzung von Hülsenfrüchten bei

Ort Boden	Ernte- jahr	Grunddüngung je ha	Kalidüngung je ha
1. Erbsen.			
Versuchsfeld Ammerzoden, Holland	1929	40 kg N (Kalksalpeter)	—
Kleiboden		150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	100 kg K_2O (Kalimagnesia)
			200 kg K_2O (Kalimagnesia)
Versuchsfeld Hedel, Holland	1929	30 kg N (Kalksalpeter)	—
Leichter Kleiboden		150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	120 kg K_2O (40er Kalis.)
			240 kg K_2O (40er Kalis.)
Versuchsfeld Finkum, Holland	1931	120 kg P_2O_5 (Superphosphat)	—
Leichter Kleiboden			130 kg K_2O (Kalimagnesia)
			260 kg K_2O (Kalimagnesia)
2. Ackerbohnen.			
Versuchsfeld Ammerzoden, Holland	1931	40 kg N (Kalksalpeter)	—
Kleiboden		150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	150 kg K_2O (Kalimagnesia)
Sorte: Aka			300 kg K_2O (Kalimagnesia)
Versuchsfeld Hedel, Holland	1932	40 kg N (Kalksalpeter)	1931 ohne K_2O, 1932 mit K_2O
Leichter Kleiboden		120 kg P_2O_5 (Superphosphat)	1931 mit K_2O, 1932 mit K_2O
Sorte: Aka		(260 kg K_2O Kalimagn.)	1931 ohne K_2O, 1932 ohne K_2O
			1931 mit K_2O, 1932 ohne K_2O
Versuchsfeld Ammerzoden, Holland	1931	40 kg N (Kalksalpeter)	—
Kleiboden		150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	150 kg K_2O (Kalimagnesia)
Sorte: Ceka			300 kg K_2O (Kalimagnesia)
Versuchsfeld Hedel, Holland	1932	40 kg N (Kalksalpeter)	1931 ohne K_2O, 1932 ohne K_2O
Leichter Kleiboden		120 kg P_2O_5 (Superphosphat)	1931 ohne K_2O, 1932 mit K_2O
Sorte: Ceka		(260 kg K_2O Kalimagn.)	1931 mit K_2O, 1932 mit K_2O
			1931 mit K_2O, 1932 ohne K_2O

nicht zu bemerken; im Durchschnitt sämtlicher Versuche betrugen die Stickstoffgehalte bei

NP 2,08 NPK 2,13 NPK_2 2,16.

Der Stärkegehalt von Weizen wurde durch die Kalidüngung etwas erhöht. Der Gehalt an Rohfett wurde nicht beeinflußt.

Bei Gerste war ein eindeutiger Einfluß der Kalidüngung auf den Stickstoffgehalt bei den angeführten Versuchen nicht festzustellen. Im Durchschnitt sämtlicher Versuche war der Stickstoffgehalt bei NP 2,08 %, NPK 2,03, NPK_2 2,01. Der Stärkegehalt wurde dagegen durch die Kalidüngung bei den verschiedenen Versuchen mehr oder weniger erhöht. Das Verhältnis Stärke zu Eiweiß stieg daher durch die Kalidüngung gewöhnlich an.

Bei Hafer war weder in bezug auf Stickstoff noch auf Stärke ein eindeutiger Einfluß der Düngung festzustellen.

Ein wesentlich anderes Bild ergaben die Untersuchungen des Strohes.

verschiedener Düngung (bezogen auf Trockensubstanz).

Korn								Stroh							Ertrag	
Reinasche %	K_2O %	Na_2O %	CaO %	MgO %	P_2O_5 %	N %	Stärke %	K_2O %	CaO %	MgO %	P_2O_5 %	N %	Rohfaser %	Korn dz/ha	Stroh dz/ha
3,21	1,33				1,23	4,52	41,46	0,81	3,67		0,43	1,79	40,68	26,00	18,00
3,40	1,40				1,23	4,48	41,53	1,18	3,44		0,37	1,91	41,86	33,00	23,00
3,03	1,34				1,21	4,31	42.45	1,19	3,10		0,45	1,95	41,57	31,5	25,00
3,23	1,47				1,10	4,39	37,12	0,13	4,63		0,32	1,52	43,28	12,00	16,00
3,35	1,66				1,01	4,21	37,78	0,56	3,84		0,31	1,53	43.54	24,00	26,00
3,26	1,43				1,05	4,28	37,00	0,82	3,30		0,29	1,55	46,15	26,00	26,00
3,44	1,18	0,11	0,22	0,23	1,15	4,27		0,34	2,63	0,56	0,36	1,79		36,6	19,3
3,06	1,42	0,07	0,21	0,27	1,18	4,03		0,80	2,50	0,54	0,41	2,06		43,9	24,8
3,16	1,54	0,07	0,23	0,27	1,16	4,10		0,94	2,72	0,51	0,28	1,78		46,2	25,3
3,76	1,68				1,33	5,50	35,10	0,81			0,30	1,48		10,00	9,00
3,57	1,83				1,24	4,51	40,6	1,36			0,27	1,19		20,00	14,00
3,54	1,91				1,14	3,68	44,8	1,84			0,23	0,89		30,00	22,00
3,76	1,65		0,21			4,68								17,7	11,6
3,75	1,62		0,22			4,52								19,8	12,9
3,88	1,75		0,19			4,04								11,4	8,9
4,16	1,78		0,21			4,00								12,4	9,1
3,39	1,38				1,30	4.33	40,7	1,07			0,32	1,41		16,00	13,00
3,45	1,52				1,28	3,83	43,5	1,40			0,35	1,27		30,00	18,00
3,39	1,67				1,22	3,48	46,2	2,12			0,28	1,02		36,00	22,00
3,28	1,41		0,17			3.79								22,8	12,1
3,25	1,41		0,17			3,75								24,7	12,3
3,72	1,68		0,16			3,38								18,6	10,3
3,95	1,68		0,17			3.30								17,0	9,4

Auf den Stickstoffgehalt war die Kalidüngung ohne Einfluß; die Phosphorsäuregehalte des Strohes schwankten unregelmäßig. Der Kaligehalt des Strohes war bei sämtlichen Versuchen durch die Kalidüngung erhöht worden, wenn nicht der Kaligehalt des Strohes von den kalifreien Teilstücken das Maximum von etwa 3 % bereits erreicht hatte.

Als wesentliches Ergebnis der Untersuchungen dürfte anzusehen sein, daß die Pflanze einer Veränderung in der Zusammensetzung des Saatkorns durch äußere Ernährungsumstände kräftigen Widerstand leistet und daß sie es fertig bringt, auch bei extremer Versorgung mit Nährstoffen den artmäßig bedingten Mineralstoffgehalt des Samenkorns festzuhalten [vgl. LUNDEGÅRDH (1)].

b) *Hülsenfrüchte* (Tab. 4).

Bei der Untersuchung der Erbsen zeigte sich, ebenso wie bei der Untersuchung von Getreide, daß die mineralische Zusammensetzung

Tabelle 5. Zusammensetzung von Kartoffeln bei

Ort Boden	Ernte- jahr	Grunddüngung je ha	Kalidüngung je ha
Versuchsfeld Hedel, Holland	1931	65 kg N (Kalksalpeter)	–
Leichter Kleiboden		150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	160 kg K_2O (Kalimagnesia)
Sorte: Erstling			320 kg K_2O (Kalimagnesia)
Versuchsfeld Ammerzoden, Holland	1931	80 kg N (Kalksalpeter)	–
Kleiboden		150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	160 kg K_2O (Kalimagnesia)
Sorte: Erstling			320 kg K_2O (Kalimagnesia)
Versuchsfeld Finkum, Holland	1931	100 kg N (Kalksalpeter)	–
Leichter Kleiboden		120 kg P_2O_5 (Superphosphat)	200 kg K_2O (Kalimagnesia)
Sorte: Eigenheimer			400 kg K_2O (Kalimagnesia)
Versuchsfeld Finkum, Holland	1931	100 kg N (Kalksalpeter)	—
Leichter Kleiboden		120 kg P_2O_5 (Superphosphat)	200 kg K_2O (Kalimagnesia)
Sorte: Roode Star			400 kg KO_2 (Kalimagnesia)
Dauerversuchsfeld Loxton, Hannover	1932	36 kg N (schws. Ammoniak)	–
Sorte: Parnassia		36 kg P_2O_5 (Superphosphat)	80 kg K_2O (40er Kalidüngesalz)
			160 kg K_2O (40er Kalidüngesalz)
			160 kg K_2O (Kalimagnesia)
Dauerversuchsfeld Knief Hengstlage, Hannover	1932	36 kg N (schws. Ammoniak)	–
Sorte: Parnassia		36 kg P_2O_5 (Superphosphat)	80 kg K_2O (40er Kalidüngesalz)
			160 kg K_2O (40er Kalidüngesalz)
			160 kg K_2O (Kalimagnesia)
Dauerversuchsfeld Knief, Hengstlage, Hannover	1932	36 kg N (schws. Ammoniak)	–
Sorte: Ackersegen		36 kg P_2O_5 (Superphosphat)	80 kg K_2O (40er Kalidüngesalz)
			160 kg K_2O (40er Kalidüngesalz)
			160 kg K_2O (Kalimagnesia)
Dauerversuchsfeld Leveste, Hannover	1932	40 kg N (schws. Ammoniak)	
Sorte: Ackersegen		50 kg P_2O_5 (Superphosphat)	160 kg K_2O (40er Kalidüngesalz)
			160 kg K_2O (Kainit)
			160 kg K_2O (Kalimagnesia)

des Samens durch die verschiedene Düngung kaum beeinflußt wurde. Eine Ausnahme macht hier allerdings der Versuch von FINKUM, bei dem der sehr niedrige Kaligehalt der von den kalifreien Teilstücken stammenden Erbsen durch die Kalidüngung auf das normale Maß gebracht wurde. Hinsichtlich des Stickstoffs waren Schwankungen in geringerem Maße als bei Getreide zu erwarten, da die Erbsen als Schmetterlingsblütler ihre Stickstoffversorgung mit Hilfe der Knöllchenbakterien regeln; die Kalidüngung bewirkte im allgemeinen einen geringen Rückgang des Stickstoffgehalts, um 0,1—0,2 %. Der Stärkegehalt wurde nicht eindeutig beeinflußt.

Im Erbsenstroh wurden der Stickstoff- und Phosphorsäuregehalt durch die Kalidüngung nicht eindeutig verändert. Der Kaligehalt des Strohes wurde regelmäßig erhöht, der Kalkgehalt herabgesetzt. Das entgegengesetzte Verhalten von Kali und Kalk zeigte sich besonders bei dem Versuch HEDEL 29, wo das kalifreie Teilstück bei dem nie-

verschiedener Düngung (bezogen auf Trockensubstanz).

Trockensubstanz %	Reinasche %	K_2O %	Na_2O %	CaO %	MgO %	P_2O_5 %	N %	Stärke %	Ertrag dz/ha
20,66	2,78	1,01	0,03			0,51	2,57	69,89	52,00
24,72	2,69	1,11	0,03			0,32	1,91	74,76	142,00
22,38	3,71	1,90	0,03			0,37	1,71	74,22	196,00
22,78	3,12	1,11	0,02			0,42	2,17	73,53	124,00
22,80	3,13	1,29	0,02			0,36	2,02	74,61	208,00
21,80	4,27	1,72	0,03			0,41	1,68	75,18	253,00
29,80	2,79	1,41	0,10	0,13	0,17	0,54	1,81	74,49	140,7
29,30	3,24	1,71	0,10	0,10	0,20	0,54	1,57	76,79	289,9
28,38	3,91	2,15	0,11	0,11	0,21	0,53	1,62	75,76	294,3
30,26	2,97	1,78	0,10	0,20	0,20	0,59	1,52	73,36	273,6
28,28	3,50	2,12	0,10	0,18	0,21	0,60	1,31	75,67	329,4
30,42	3,85	2,04	0,10	0,20	0,23	0,59	1,25	72,32	367,2
23,87	5,03	2,85		0,09		0,71	1,39	72,90	352,00
24,47	4,86	2,82		0,04		0,61	1,25	72,33	339,00
24,03	4,70	3,62		0,04		0,62	1,16	71,16	334,7
24,05	4,78	2,79		0,09		0,67	1,34	72,77	306,7
26,62	3,64	2,14		0,08		0,45	1,03	79,26	325,00
26,56	3,88	2,18		0,08		0,45	1,02	76,81	340,7
25,81	3,72	2,29		0,04		0,46	0,97	80,98	325,5
24,68	4,34	2,55		0,08		0,49	1,17	74,96	329,9
22,73	4,58	2,16		0,04		0,44	0,94	76,55	391,9
23,41	4,31	2,65		0,09		0,56	0,92	74,76	412,3
22,39	4,51	2,77		0,04		0,49	1,03	72,80	411,3
24,77	3,84	2,30		0,08		0,48	0,89	77,92	409,00
26,33	3,15	1,90		0,08		0,49	1,10	76,72	231,00
24,81	3,71	2,22		0,08		0,48	1,08	78,20	290,8
24,54	4,07	2,53		0,08		0,49	1,01	75,39	284,5
26,49	3,78	2,38		0,08		0,49	0,96	77,39	288,9

drigen K_2O-Gehalt von 0,13 % im Stroh den höchsten CaO-Gehalt von 4,6 % aufwies. Im Durchschnitt aller Versuche waren die Gehalte des Strohs an Kali und Kalk bei den verschiedenen Düngungen die folgenden:

	NP	NPK_1	NPK_2
K_2O	0,43	0,85	0,98
CaO	3,64	3,26	3,04

Bei den Ackerbohnen waren im Samen deutlichere Änderungen des Gehaltes an Kali durch die Kalidüngung festzustellen als bei Getreide und Erbsen. Der Kalkgehalt wurde nicht verändert, der Gehalt an Phosphorsäure und an Stickstoff herabgesetzt. Der Stärkegehalt wurde durch die Kalidüngung beträchtlich erhöht.

Im Bohnenstroh finden wir wiederum eine deutliche Steigerung des Kaligehaltes, dagegen eine Verminderung des Gehaltes an Phosphorsäure und an Stickstoff.

c) *Kartoffeln.*

Die in Tabelle 5 wiedergegebenen Versuche zu Kartoffeln lassen zunächst erkennen, daß die durch Boden und Sorte bedingten Schwankungen in der Zusammensetzung der Ernteproben von den verschiedenen Versuchen wesentlich größer sind als die Unterschiede, welche die Düngung bewirkt.

Der Einfluß der Düngung mit Kali äußert sich nur bei einem Teil der Versuche in einer Erhöhung des Kaligehaltes der Knollen. Eine Steigerung des Kaligehaltes durch Düngung ist deutlich bei den holländischen Versuchen zu bemerken, bei denen Kaligaben bis zu 400 kg K_2O je Hektar angewandt wurden. Bei den deutschen Versuchen, bei denen die Staffelung der Kaligaben nur bis 160 kg K_2O je Hektar ging, war die Erhöhung des Kaligehaltes durch die Düngung wesentlich geringer bzw. überhaupt nicht vorhanden. Auf den Gehalt an Na_2O und CaO war die Kalidüngung ohne Einfluß. Die Anreicherung an MgO ist auf den Magnesiagehalt der zur Düngung benutzten Kalimagnesia zurückzuführen. Der Gehalt an Phosphorsäure wurde durch die Kalidüngung nicht verändert. Der Gehalt an Stickstoff wurde nicht verändert bei Versuchen, in denen bereits die von den kalifreien Teilstücken stammenden Kartoffeln einen normalen Stickstoffgehalt von etwa 1—1,3 % hatten, wie er dem von STUTZER angegebenen entspricht. In Versuchen, bei denen die kalifreien Teilstücke sehr hohe Stickstoffgehalte hatten, ging durch die Kalidüngung der Stickstoffgehalt zurück.

Der Gehalt an Trockensubstanz wurde durch die Kalidüngung nicht eindeutig beeinflußt. Bei den holländischen Versuchen betrug im Durchschnitt aller Versuche der Gehalt an Trockensubstanz bei NP 25,76 %, NP + 160 K_2O (KMg) 26,75 %, NP + 320 kg K_2O (KMg) 26,20 %. Bei den deutschen Versuchen waren die entsprechenden Zahlen folgende: NP 23,94, NP + 80 kg K_2O (KCl) 24,46, NP + 160 kg K_2O (KCl) 23,65, NP + 160 kg K_2O (KMg) 24,24 %.

Bei der in der Praxis üblichen Bestimmung des Stärkegehaltes der Kartoffeln ermittelt man den Stärkegehalt aus dem spezifischen Gewichte bzw. dem Gehalte an Trockensubstanz. Man gelangt aber dabei nicht zu genauen Zahlen über den Stärkegehalt der Kartoffeln

bei verschiedener Kaliversorgung. Wie schon RUSSEL feststellte, kann nämlich Kali den Stärkegehalt der Trockensubstanz erhöhen. Auch wir fanden, daß der Stärkegehalt in der Trockensubstanz in der Mehrzahl der Fälle als Folge der Kalidüngung anstieg.

In Tabelle 6 sind Untersuchungen über den Einfluß der Kalidüngung auf das Verfärben der Kartoffeln beim Kochen wiedergegeben. Es bestätigt sich hier, daß die Herabsetzung eines zu hohen Stickstoffgehaltes, die wir als Folge der Kalidüngung feststellten, mit einer Verminderung der Anfälligkeit für Blaufärbung parallel geht.

d) Rüben (Tab. 7).

Bei den Zuckerrüben wurde durch die Kalidüngung der Kaligehalt der Rüben erhöht. Der Stickstoffgehalt, der bei den Rüben mit einseitiger NP-Düngung überhöht war, wurde durch Kalidüngung auf einen Betrag herabgesetzt, den auch STUTZER als Durchschnittswert angibt. Der Phosphorsäuregehalt wurde nicht verändert. Der Gehalt an Trockensubstanz wurde unregelmäßig beeinflußt; im Durchschnitt aller Versuche betrug er bei NP 23,2, bei NPK 24,0 %. Der Zuckergehalt in der Trockensubstanz wurde durch die Kalidüngung meist erhöht, und zwar im Durchschnitt sämtlicher Versuche von 75,56 bei NP auf 76,25 % bei NPK. Auf feuchte Substanz berechnet, würde dies einer Erhöhung des Zuckergehaltes der Rüben von 17,5 % bei NP auf 18,3 % bei NPK entsprechen.

In den Zuckerrübenblättern bewirkte die Kalidüngung eine Erhöhung des Kaligehaltes. Der P_2O_5-Gehalt wurde nicht beeinflußt, der N-Gehalt bei einigen Versuchen erhöht, bei anderen erniedrigt.

Bei Futterrüben schwankte der Kaligehalt der Rüben je nach Sorte und Boden außerordentlich stark; er war teils doppelt so hoch, teils nur halb so hoch wie die Angaben von STUTZER. Die Düngung bewirkte eine starke Steigerung des Kaligehaltes besonders in den Fällen, in denen der Kaligehalt der Rüben von den kalifreien Teilstücken sehr niedrig war. Der Gehalt an Natrium wurde bei Düngung mit Kainit erhöht, die gleichzeitig den Gehalt an CaO und MgO herabsetzte. Der Stickstoffgehalt wurde durch Kalidüngung nicht wesentlich beeinflußt.

Auch in den Rübenblättern wurde der Kaligehalt vor allem in den Fällen erhöht, in denen offenbar Kalimangel vorlag. Bei Verwendung

Tabelle 6. Verhütung der Blaufärbung von Kartoffeln durch

Ort Boden	Ernte-jahr	Grunddüngung je ha	Kalidüngung je ha
Versuchsfeld Ammerzoden, Holland Sorte: Erstling	1930	75 kg N (Chilesalpeter) 150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	— 125 kg K_2O (Kalimagnesia) 250 kg K_2O (Kalimagnesia)
Versuchsfeld Hedel, Holland Sorte: Erstling	1930	65 kg N (Kalksalpeter) 150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	— 125 kg K_2O (Kalimagnesia) 250 kg K_2O (Kalimagnesia)
Versuchsfeld Ammerzoden, Holland Sorte: Eigenheimer	1930	75 kg N (Chilesalpeter) 150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	— 125 kg K_2O (Kalimagnesia) 250 kg K_2O (Kalimagnesia)
Versuchsfeld Hedel, Holland Sorte: Eigenheimer	1930	65 kg N (Kalksalpeter) 150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	— 125 kg K_2O (Kalimagnesia) 250 kg K_2O (Kalimagnesia)

Tabelle 7. Zusammensetzung der Rüben bei verschiedener

Ort Boden	Ernte-jahr	Grunddüngung je ha	Kalidüngung je ha
1. Zuckerrüben			
Versuchsfeld Hedel, Holland Leichter Kleiboden	1930	80 kg N (Kalksalpeter) 150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	—
Versuchsfeld Ammerzoden, Holl. Kleiboden	1931	80 kg N (Kalksalpeter) 150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	— 320 kg K_2O (40er Kali)
Versuchsfeld Hedel, Holland Leichter Kleiboden	1931	80 kg N (Kalksalpeter) 150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	— 320 kg K_2O (40er Kali)
2. Futterrüben			
Studiengesellschaft Steinach/Ndby.	1931	50 kg N (Leunasalpeter) 70 kg P_2O_5 (Thomasmehl)	— 200 kg K_2O (40er Kali) Im April (Kainit)
Versuchsfeld Hedel, Holland Leichter Kleiboden	1930	80 kg N (Kalksalpeter) 150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	— 320 kg K_2O (40er Kali)
Versuchsfeld Finkum, Holland Sandiger Tonboden	1932	80 kg N (Kalksalpeter) 120 kg P_2O_5 (Superphosphat)	— 100 kg K_2O (40er Kali) 200 kg K_2O (40er Kali)
3. Kohlrüben			
Versuchsfeld Finkum, Holland Leichter Kleiboden	1931	25 kg N (Kalksalpeter) 120 kg P_2O_5 (Superphosphat)	— 200 kg (K_2OKalimagnesia) 400 kg (K_2OKalimagnesia)
Versuchsfeld Finkum, Holland Leichter Kleiboden	1932	25 kg N (Kalksalpeter) 120 kg P_2O_5 (Superphosphat)	— 200 kg K_2O (Kalimagnesia) 400 kg K_2O (Kalimagnesia)

von Kainit als Dünger war außerdem eine Steigerung des Gehaltes an Natrium und Chlor zu beobachten. Der Phosphorsäuregehalt und

Kalidüngung (Prozentgehalte bezogen auf Trockensubstanz).

Trocken-substanz %	Reinasche %	K_2O %	N %	Stärke %	Von 10 Knollen verfärbt schwach	Von 10 Knollen verfärbt stark	Ertrag in dz/ha Knollen
25,20	4,52	1,07	2,66	68,65	3	7	96,00
26,10	3,87	1,34	2,22	70,88	8	--	145,00
23,90	4,23	2,34	1,84	72,80	4	--	138,00
25,60	2,73	1,09	2,34	67,58	3	4	64,00
24,70	2,79	1,30	2,06	70,04	2	--	112,00
23,20	4,22	1,64	2,03	72,42	2	--	136,00
27,30	4,10	1,47	2,45	72,16	3	5	121,00
27,50	4,04	1,67	2,04	74,55	2	2	177,00
28,30	4,13	1,94	1,63	75,97	4	--	233,00
26,90	4,05	1,38	2,75	70,26	3	3	96,00
29,00	4,69	2,45	1,45	72,76	4	--	134,00
29,90	4,72	2,44	1,37	74,25	3	—	238,00

Düngung (bezogen auf Trockensubstanz).

Rüben: Trockensubstanz %	Rüben: Rein-asche %	Rüben: K_2O %	Rüben: Na_2O %	Rüben: CaO %	Rüben: MgO %	Rüben: P_2O_5 %	Rüben: N %	Rüben: Zucker %	Blätter: Trocken-substanz %	Blätter: Rein-asche %	Blätter: K_2O %	Blätter: Na_2O %	Blätter: CaO %	Blätter: MgO %	Blätter: P_2O_5 %	Blätter: N %	Blätter: Cl %	Ertrag Rüben dz/ha	Ertrag Blätter dz/ha
17,97		0,58					1,44	91,43			1,54					3,23		300,00	274,00
20,86		0,89					1,03	87,58			3,50					2,86		502,00	364,00
27,04	1,59	0,59				0,30	0,74	74,70	13,70	10,15	3,43				1,02	2,26		361,00	210,00
26,90	1,90	0,93				0,30	0,75	75,09	14,00	12,43	4,86				1,00	2,71		462,00	274,00
25,14	1,78	0,68				0,32	1,00	71,79	15,00	9,93	3,33				1,13	2,60		258,00	282,00
29,92	2,41	1,12				0,34	0,82	76,15	14,50	13,17	6,00				1,17	2,83		442,00	338,00
11,70	13,59	7,01	0,85	0,51	0,43	1,03	2,31		88,63	17,07	5,51	1,56	2,71	1,52	0,78	3,52	0,67		
11,60	14,75	7,38	1,20	0,51	0,43	0,95	1,97		88,44	19,62	5,51	2,26	3,04	1,52	0,77	3,60	2,19		
11,90	17,18	8,00	2,00	0,45	0,36	1,00	2,18		88,01	20,87	5,66	2,94	2,59	1,32	0,82	3,75	3,98		
8,51		1,37					1,68				2,01					4,43		476,00	184,00
9,23		2,64					1,30				3,91					3,81		920,00	284,00
5,74		1,97					1,08		8,60		5,00					4,88		956,00	420,00
3,57		2,28					1,03		9,70		4,64					4,43		1128,00	467,00
4,27		2,80					0,98		10,00		5,50					4,10		1216,00	493,00
9,32	5,43	1,94				0,97	2,23	56,39										590,7	
,74	5,59	2,42				0,93	1,96	58,20										634,2	
1,10	5,50	2,61				0,90	1,80	58,20										665,7	
,18		1,87					2,36	56,91										486,4	
,95		2,61					2,31	58,32										498,0	
,47		2,77					2,05	61,56										517,2	

Stickstoffgehalt der Rübenblätter wurde durch die Kalidüngung nicht beeinflußt.

Tabelle 8. Zusammensetzung von Öl- und Faserpflanzen

Ort Boden	Erntejahr	Grunddüngung je ha	Kalidüngung je ha
1. Flachs			
Versuchsfeld Hedel, Holland	1929	55 kg N (Kalksalpeter)	—
		150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	130 kg K_2O (Kalimagnesia)
			260 kg K_2O (Kalimagnesia)
Versuchsfeld Hedel, Holland Leichter Kleiboden	1930	55 kg N (Kalksalpeter)	—
		150 kg P_2O_5 (Superphosphat	160 kg K_2O (40er Kali)
			320 kg K_2O (40er Kali)
Versuchsfeld Finkum, Holland Leichter Kleiboden	1931	120 kg P_2O_5 (Superphosphat)	—
			100 kg K_2O (40er Kali)
			200 kg K_2O (40er Kali)
2. Blaumohn			
Versuchsfeld Kruisland, Holland Leichter Kleiboden	1930	45 kg N (Chilesalpeter)	—
		150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	130 kg K_2O (40er Kali)
			260 kg K_2O (40er Kali)
Versuchsfeld Hedel, Holland Leichter Kleiboden	1931	80 kg N Kalksalpeter)	—
		150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	160 kg K_2O (40er Kali)
			320 kg K_2O (40er Kali)
3. Senf			
Versuchsfeld Hedel, Holland Leichter Kleiboden	1931	30 kg N (Kalksalpeter)	—
		150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	80 kg K_2O (40er Kali)
			160 kg K_2O (40er Kali)
4. Baumwollsaat			
Madison, Georgia Sandiger Ton von Piedmont	1933	14,4 kg N 16,2 kg P_2O_5 391,0 kg Cotton Seed	5,76 kg K_2O
		14,4 kg N 16,2 kg P_2O_5 738,0 kg Cotton Seed	117,9 kg K_2O

Bei Kohlrüben ergab sich eine Steigerung des Kaligehaltes sowie eine Herabsetzung des Stickstoffgehaltes, letztere vor allem bei höheren Kaligaben. Der Gehalt an Gesamtzucker wurde durch die Kalidüngung erhöht.

e) Öl- und Faserpflanzen (Tab. 8).

Bei Flachs hatte die Kalidüngung keinen Einfluß auf den Kaligehalt des Samens. Der Gehalt an Phosphorsäure und Stickstoff ging vielfach etwas zurück. Die Pflanzen von den Kaliteilstücken waren im P_2O_5-Gehalt in beiden Versuchsjahren gleich, während die Pflanzen von den kalifreien Teilstücken im Jahre 1929 einen höheren Phosphorsäuregehalt aufwiesen als im Jahre 1930. Der Gehalt an Rohfett wurde

bei verschiedener Düngung (bezogen auf Trockensubstanz).

Samen									Stroh							Ertrag	
Trockensubstanz %	Reinasche %	K_2O %	P_2O_5 %	N %	Reineiweiß %	Rohfett %	Rohfaser %	N-freie Extraktstoffe %	Trockensubstanz %	Reinasche %	K_2O %	CaO %	P_2O_5 %	N %	Rohfaser %	Korn dz/ha	Stroh dz/ha
92,83	4,03	0,95	1,76	4,87		36,87			93,35		0,38	1,10	0,42	1,88	42,4	4,00	20,00
94,15	3,58	0,88	1,38	4,47		37,31			93,00		0,29	1,24	0,38	1,73	42,6	12,00	36,00
93,08	3,57	0,95	1,40	4,35		37,11			94,90		0,83	0,82	0,25	1,37	46,0	14,00	38,00
94,06	3,88	0,79	1,51	4,68	26,20	37,45	5,93		92,24		0,42					90	
93,87	3,61	0,90	1,45	4,77	26,74	37,05	5,93		91,25		0,52					92	
93,85	3,41	0,82	1,34	4,62	25,91	36,97	5,88		92,72		1,54					88	
									92,51	5,04	0,87					11,00	41,4
									93,11	6,09	1,50					13,9	45,8
									92,96	5,36	1,51					14,4	49,7
	8,88	0,92	—	3,23		44,14					1,54						
–	9,12	0,95	—	3,62		46,32					1,65						
–	8,08	0,91	—	3,54		46,54					1,73						
	6,64	1,09	2,42	4,08		46,42				6,64	1,43		0,65	2,01			
–	6,49	0,97	1,86	3,81		46,31				7,74	2,38		0,52	1,74			
–	6,57	0,94	1,91	3,74		45,44				6,80	1,46		0,51	1,58			
–	5,16	1,21	2,26	5,51		23,19				6,68	0,57		0,30	1,10			
–	4,81	1,07	2,24	4,85		27,17				5,22	0,34		0,27	0,74			
–	5,43	1,11	2,31	5,16		26,37				6,73	0,53		0,38	0,90			
92,87	4,03	1,35	—	3,97		14,32	27,67	29,07								9,80	
93,33	3,99	1,37	—	3,92		19,07	26,68	25,72								18,45	

durch die Kalidüngung praktisch nicht verändert, ebenso der Gehalt an Rohfaser.

In den Stengeln wurde der Kaligehalt durchweg gesteigert, der Gehalt an Kalk und an Stickstoff etwas vermindert.

Bei Blaumohn blieb die Kalidüngung ohne eindeutigen Einfluß auf Kali- und Stickstoffgehalt der Samen; der Phosphorsäuregehalt wurde etwas herabgesetzt. Der Gehalt an Rohfett blieb praktisch unverändert.

Im Stroh von Blaumohn wurde der Kaligehalt erhöht, der Phosphorsäure- und Stickstoffgehalt herabgesetzt.

Beim Senf ergab sich im Samen keine Änderung des Gehaltes an Kali, Phosphorsäure und Stickstoff; der Gehalt an Rohfett wurde durch Kalidüngung deutlich erhöht.

Tabelle 9. Zusammensetzung von Gemüse bei

Ort Boden	Ernte- jahr	Grunddüngung je ha	Kalidüngung je ha
1. Zwiebeln			
Versuchsfeld Finkum, Holland	1930	65 kg N (Kalksalpeter)	-
Leichter Kleiboden		120 kg P_2O_5 (Superphosphat)	100 kg K_2O (40er Kalisalz)
			200 kg K_2O (40er Kalisalz)
Versuchsfeld Finkum, Holland	1931	wie vor	-
Leichter Kleiboden			100 kg K_2O (40er Kalisalz)
			200 kg K_2O (40er Kalisalz)
Versuchsfeld Finkum, Holland	1932	40 kg N (Kalksalpeter)	-
Leichter Kleiboden		120 kg P_2O_5 (Superphosphat)	200 kg K_2O (Kalimagnesia)
			400 kg K_2O (Kalimagnesia)
2. Karotten			
Versuchsfeld Finkum, Holland	1931	80 kg N (Kalksalpeter)	-
Leichter Kleiboden		120 kg P_2O_5 (Superphosphat)	120 kg K_2O (40er Kalisalz)
			240 kg K_2O (40er Kalisalz)
Versuchsfeld Finkum, Holland	1932	wie vor	-
Leichter Kleiboden			100 kg K_2O (40er Kalisalz)
			200 kg K_2O (40er Kalisalz)
3. Rotkohl			
Versuchsfeld Hedel, Holland			
Leichter Kleiboden			
a) Köpfe	1930	65 kg N (Kalksalpeter)	-
		150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	320 kg K_2O (Kalimagnesia)
b) Blätter			
4. Weißkohl			
Versuchsfeld Hedel, Holland			
Leichter Kleiboden			
a) Köpfe	1930	40 kg N (Kalksalpeter)	-
		150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	320 kg K_2O (Kalimagnesia)
b) Blätter			
5. Wirsingkohl			
Versuchsfeld Hedel, Holland	1932	55 kg N (Kalksalpeter)	-
Leichter Kleiboden		150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	160 kg K_2O (Kalimagnesia)
			320 kg K_2O (Kalimagnesia)
6. Endivie			
Versuchsfeld Hedel, Holland	1932	55 kg N (Kalksalpeter)	-
Leichter Kleiboden		150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	180 kg K_2O (Kalimagnesia)
			360 kg K_2O (Kalimagnesia)

Im Stroh änderten sich der Kali- und Phosphorsäuregehalt nicht; der Stickstoffgehalt wurde herabgesetzt.

Bei Baumwollsaat ergab sich keine Veränderung des Kaligehaltes; eine Herabsetzung des Stickstoffgehalts war ebenfalls nicht zu erkennen. Der Gehalt an Rohfaser und an stickstofffreien Extraktstoffen war herabgesetzt, der Gehalt an Rohfett war beträchtlich erhöht.

verschiedener Düngung (bezogen auf Trockensubstanz).

Trockensubstanz %	Reinasche %	K_2O %	P_2O_5 %	N %	Stärke %	Saccharose %	Invertzucker %	Gesamtzucker %	Rohfaser %	Schwefel %	Ertrag dz/ha
12,92	5,96	0,70	2,01	2,48	5,42	27,64	6,50	34,14	6,97	0,77	2,00
12,85	2,96	0,78	1,01	2,10	5,29	41,01	10,51	51,52	5,92	0,39	68,00
12,75	4,31	1,57	0,78	2,04	5,02	42,75	8,94	51,69	6,96	0,39	104,00
11,40	3,95	0,96	1,14	2,11							94,20
11,65	4,03	1,29	0,94	1,63							385,00
10,75	4,47	1,86	0,93	1,67							428,20
10,60		0,85				41,98	23,02	65,00			92,00
10,80		1,39				42,50	23,15	65,65			221,40
10,60		1,89				46,14	23,87	70,01			200,70
11,40	4,56	0,79	0,96	2,11		12,19	17,89	30,08			482,00
12,[illegible]	4,75	1,33	0,83	1,58		19,75	16,08	35,83			759,20
12,15	6,34	1,81	0,74	1,40		20,99	16,05	37,04			849,20
8,10		0,61		2,35		6,54	36,92	43,46			76,00
10,41		1,54		1,83		20,37	33,81	54,18			388,40
11,60		2,76		1,64		22,59	32,07	54,66			411,50
											Köpfe u. Blätter
8,91	13,37	1,98		2,96							42,00
7,81	12,09	4,[illegible]		2,45							120,00
13,88		1,33		3,04							
14,79		2,26		2,51							
											Köpfe u. Blätter
9,69	14,78	1,44	2,35								48,00
6,95	10,39	2,74	2,54								88,00
13,43		1,70	2,32								
11,64		3,17	2,52								
5,97		2,33		5,17							80,00
8,37		2,26		3,70							228,00
7,71		2,34		4,16							226,00
11,04		0,73		3,27							92,00
11,44		1,14		2,54							248,00
9,72		2,17		2,68							254,00

f) Gemüse (Tab. 9).

Bei Zwiebeln wurde durch Kalidüngung der Gehalt an Kali erhöht; die Gehalte an Phosphorsäure und Stickstoff wurden etwas herabgesetzt. Der Schwefelgehalt wurde durch die Düngung mit 40er Kalidüngesalz deutlich vermindert. Der Gehalt an Gesamtzucker wies eine Erhöhung auf, die vor allem den Gehalt an Saccharose betraf.

Auch bei Karotten wurde der Gehalt an Kali im allgemeinen durch die Kalidüngung erhöht; auf den Gehalt an Phosphorsäure und Stickstoff übte die Kalidüngung keinen eindeutigen Einfluß aus. Der Gehalt an Gesamtzucker wurde durch die Kalidüngung gesteigert, und zwar betraf dies besonders den Gehalt an Saccharose, während der Invertzucker nur geringe und unregelmäßige Veränderungen zeigte. Beim Vergleiche der Proben von verschiedenen Versuchen ergab sich, daß einem höheren Kaligehalt der Karotten im allgemeinen auch ein höherer Zuckergehalt entsprach.

Bei den Kohlarten wie auch bei Endivie war in fast allen Fällen eine Erhöhung des Kaligehaltes als Folge der Kalidüngung eingetreten, die sowohl das Innere des Kohlkopfes, dessen Gefüge bei Kalidüngung fester war, als auch die Kohlblätter betraf. Der Stickstoffgehalt bzw. Gehalt an Roheiweiß wurde bei Weißkohl unregelmäßig beeinflußt, bei Rotkohl und Wirsingkohl herabgesetzt.

Tabelle 10. Veränderung der Farbe von verschieden gedüngtem Rotkohl bei Säurezusatz (Sorte „Holländischer Export").

Boden	Erntejahr	Grunddüngung	Kalidüngung	n/10-HCL ccm	p_H	Farbton
Schenkenberg (Brandenburg) Sand	1933	—	—	0	6,56	mißfarben blau
				1	5,65	mißfarben blaurot
				2	4,77	
				4	3,86	
				8	2,78	rein rot
		70 kg N (Leunasalpeter) 60 kg P_2O_5 (Rhenaniaphos.)	—	0	5,78	mißfarben blaurot
				1	4,44	
				2	3,73	
				4	2,99	rein rot
		70 kg N (Leunasalpeter) 60 kg P_2O_5 (Rhenaniaphos.)	360 kg K_2O (schwefels. Kali)	0	5,08	rötlich
				1	4,35	
				2	3,64	
				4	2,91	rein rot

Der Rotkohl soll beim Kochen eine leuchtend rote Farbe haben. Es ist wünschenswert, daß diese reine rote Farbe bereits bei Zusatz einer geringen Menge Essig erreicht wird, damit der Zusatz von Essig nur nach geschmacklichen Gründen bemessen zu werden braucht. Wir untersuchten die Proben von verschiedenen Teilstücken eines Düngungsversuches zu Rotkohl auf die Abhängigkeit des Farbtons von der Wasserstoffionenkonzentration. Je 100 g frischer Kohl wurden

mit Wasser gekocht, auf 500 ccm gebracht, filtriert, vom Filtrat je 25 ccm mit steigenden Mengen $^n/_{10}$-HCl versetzt, auf 100 ccm gebracht und die erhaltene Farbe verglichen. Gleichzeitig wurden p_H-Messungen der einzelnen Proben vorgenommen.

Wie zu erwarten war, zeigte sich der Farbton von der Wasserstoffionenkonzentration abhängig. Bei der Volldüngung wie auch bei der einseitigen Düngung mit Stickstoff und Phosphorsäure war die Wasserstoffionenkonzentration von vornherein höher, so daß zur Erzielung der roten Farbe eine geringere Menge an Essig genügte als bei der Probe von dem Teilstück ohne Handelsdünger.

g) Früchte.

Der Ertrag an Tomaten (Tabelle 11) war in den beiden Versuchsjahren, aus denen die Proben stammten, sehr verschieden; es ist daher nicht zu verwundern, daß auch in der Zusammensetzung der Tomaten Unterschiede auftraten. So war der Gehalt an Reinasche und an Kali in dem Jahre 1930 bei der drei- bis fünfmal so großen Ernte höher als 1929, der Gehalt an P_2O_5 und N dagegen niedriger.

In beiden Jahren war der Gehalt an Kali auf den Volldüngungsteilstücken ebenso hoch bzw. geringer als auf dem ungedüngten Teilstück; auf den NP-Teilstücken war er niedriger. Der Gehalt an Phosphorsäure war in beiden Jahren auf den NP- und NPK-Teilstücken niedriger als auf dem ungedüngten Teilstück. Der Gehalt an Stickstoff war bei der Volldüngung im Jahre 1929 höher als bei Ungedüngt oder NP; im Jahre 1930 waren die Gehalte bei NP und NPK gleich, aber niedriger als auf dem ungedüngten Teilstück. Der Gehalt an Gesamtzucker war auf den Volldüngungsteilstücken beträchtlich höher als auf den ungedüngten Teilstücken.

Bei Äpfeln (Tabelle 12) war ein Einfluß der Kalidüngung auf den Kaligehalt der Früchte von den verschieden gedüngten Teilstücken nicht zu erkennen. Durch die Volldüngung mit der verstärkten Kaligabe wurde der Gehalt an Invertzucker wie auch an Gesamtzucker etwas erhöht. Der Gehalt an Rohfaser wurde ebenfalls durch Kali erhöht.

Bei dem Traubenversuch (Tabelle 13) waren in bezug auf die Ausbeute an Saft Ungedüngt, NP und die Volldüngung mit schwefel-

Tabelle 11. Zusammensetzung von Tomaten (Tuckwood) bei verschiedener Düngung (bezogen auf Trockensubstanz).

Ort Boden	Erntejahr	Grunddüngung je ha	Kalidüngung je ha	Trockensubstanz %	Reinasche %	K_2O %	P_2O_5 %	N %	Gesamtzucker %	Ernte an Trockensubstanz je qm g
Lichterfelde Betonparzellen, Sand	1929	Ungedüngt	—	6,25	7,53	4,08	0,75	1,66	3,37	290,6
		125 kg N (Harnstoff) 80 kg P_2O_5 (Dicalciumphosphat)	—	6,27	7,06	3,65	0,62	1,96	4,28	406,8
			250 kg K_2O (Chlorkalium)	6,64	7,41	4,13	0,58	2,13	4,14	489,8
			250 kg K_2O (Kalisalpeter)	6,72	7,07	3,76	0,58	2,58	4,51	439,8
			250 kg K_2O (schwefelsaures Kali)	6,95	7,39	3,97	0,62	2,34	4,79	435,3
			250 kg K_2O (Kalimagnesia)	6,41	7,50	4,07	0,63	2,28	4,21	460,8
Lichterfelde Betonparzellen, Sand	1930	Ungedüngt	—	5,65	10,28	5,17	0,45	2,29	3,00	646,6
		125 kg N (Harnstoff) 80 kg P_2O_5 (Dicalciumphosphat)	—	6,63	8,93	4,41	0,32	1,76	3,86	701,2
			250 kg K_2O (Chlorkalium)	7,42	9,70	4,55	0,37	1,73	4,08	2109,8
			250 kg K_2O (Kalisalpeter)	6,82	9,28	4,69	0,41	1,72	3,67	2229,5
			250 kg K_2O (schwefelsaures Kali)	6,65	9,03	4,71	0,41	1,70	4,02	2063,8
			250 kg K_2O (Kalimagnesia)	7,21	8,66	4,35	0,38	1,63	4,29	2220,6

Tabelle 12. Zusammensetzung von Äpfeln (Schöner von Boskoop) bei verschiedener Düngung (bezogen auf frische Substanz).

Ort Boden	Erntejahr	Grunddüngung je ha	Kalidüngung je ha	Trockensubstanz %	K_2O %	Rohfaser %	Invertzucker %	Saccharose %	Gesamtzucker %	Ertrag je Baum in kg
Welsum, Holland Guter sandiger Tonboden	1932	120 kg N (Chilesalpeter) 150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	—	16,90	0,21	1,18	9,0	2,4	11,4	109
			200 kg K_2O (Kalimagnesia)	16,98	0,19	1,20	9,0	2,7	11,7	120
			400 kg K_2O (Kalimagnesia)	18,10	0,22	1,23	9,6	2,5	12,1	66
Windesheim, Holland Schwerer Kleiboden	1932	120 kg N (Chilesalpeter) 150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	—	16,70	0,19	1,10	9,2	2,5	11,7	34
			200 kg K_2O (Kalimagnesia)	17,14	0,21	1,16	9,2	2,6	11,8	51
			400 kg K_2O (Kalimagnesia)	18,06	0,22	1,25	10,1	2,1	12,2	58

saurem Kali und Kalimagnesia (Patentkali) gleich, während die Volldüngungsteilstücke mit Chlorkalium und Kalisalpeter eine etwas geringere Ausbeute ergaben. Der Gehalt des Saftes an Trockensubstanz war auf sämtlichen gedüngten Teilstücken höher als auf den ungedüngten Teilstücken. Der Kaligehalt des Saftes war sowohl auf den NP- wie den NPK-Teilstücken höher als auf dem ungedüngten Teilstück. Das gleiche Bild zeigte der Gehalt an Invertzucker. Den höchsten Säuregehalt hatten die Trauben von dem ungedüngten Teilstück und

Tabelle 13. Zusammensetzung von Trauben bei verschiedener Düngung. Sandboden der Betonparzellen Lichterfelde, Erntejahr 1933.

Grunddüngung dz/ha		Kalidüngung dz/ha	1000 g Trauben ergaben: Saft g	Rückstand g	Rückstand getrocknet g	Saft: Trockensubstanz %	K_2O %	Invertzucker %	100 ccm Saft verbrauchen ccm $n/_{10}$-NaOH	p_H	p_H-Verschiebung durch 40 ccm $n/_{10}$-NaOH	durch 80 ccm $n/_{10}$-NaOH
—	—	—	795	205	67,79	14,25	0,21	11,6	150,2	3,4	0,6	1,2
100 kg N als Ammonsalpeter	120 kg P_2O_5 Dicalciumphosphat	—	800	200	70,00	19,36	0,32	15,9	100,8	3,6	0,8	1,9
Desgl.	desgl.	250 kg K_2O als Chlorkalium	749	251	85,3	18,24	0,31	14,8	133,6	3,5	0,6	1,1
Desgl.	desgl.	Kalisalpeter	759	241	79,3	17,97	0,29	14,6	115,2	3,5	0,7	1,4
Desgl.	desgl.	schwefelsaures Kali	800	200	67,3	19,00	0,32	15,7	95,2	3,6	0,8	2,1
Desgl.	desgl.	Kalimagnesia	806	194	54,7	18,39	0,27	15,2	101,6	3,6	0,7	1,7

dem Volldüngungsteilstück mit Chlorkalium; den niedrigsten die von dem Volldüngungsteilstück mit schwefelsaurem Kali. In den p_H-Zahlen des Traubensaftes zeigten sich keine wesentlichen Verschiedenheiten, dagegen war die Pufferung etwas besser auf dem NP- und dem Volldüngungsteilstück mit schwefelsaurem Kali; am geringsten war die Pufferung auf den Teilstücken Ungedüngt und Volldüngung mit Chlorkalium und Kalisalpeter.

b) Futterpflanzen.

Über die Zusammensetzung von Wiesenheu wurden auf Veranlassung des Verbandes landwirtschaftlicher Versuchsstationen durch MACH und HERRMANN (2) ausgedehnte Untersuchungen zusammen-

gestellt, ferner wurde von THEEL vom Tierphysiologischen Institut der Landwirtschaftlichen Hochschule Berlin (3) diese Frage bearbeitet. Bei

Tabelle 14. Zusammensetzung von Gräsern bei verschiedener Düngung (bezogen auf Trockensubstanz).

N = 80 g N (Kalksalpeter) K = 100 kg K_2O (40er Kalisalz)
P = 120 kg P_2O_5 (Superphosphat) K_2 = 200 kg K_2O (40er Kalisalz)

Grasart	Düngung	Reinasche %	K_2O %	Na_2O %	CaO %	MgO %	P_2O_5 %	N %
Lolium perenne	NP	8,59	1,63	1,58	0,99	0,32	1,07	2,68
Englisches Raygras	NPK	8,35	2,40	1,23	0,84	0,26	1,02	2,45
(Deutsch. Weidelgras)	NPK_2	8,10	2,87	0,97	0,78	0,27	0,94	2,43
Dactylis glomerata	NP	6,65	2,85	0,45	0,64	0,27	0,87	2,08
Knaulgras	NPK	8,23	3,87	0,38	1,18	0,56	0,90	2,07
	NPK_2	8,84	4,57	0,23	0,61	0,28	0,89	1,98
Phleum pratense	NP	7,82	3,33	0,20	1,10	0,46	1,22	3,17
Timothee (Wiesen-	NPK	8,33	4,20	0,25	0,88	0,37	1,15	2,71
lieschgras)	NPK_2	7,52	4,01	0,17	0,80	0,29	0,96	2,83
Festuca pratensis	NP	7,09	2,48	0,11	1,41	0,50	1,10	3,12
Wiesenschwingel	NPK	7,83	3,59	0,12	1,13	0,41	1,06	2,87
	NPK_2	9,34	4,58	0,10	1,28	0,44	1,10	2,82
Poa pratensis	NP	7,57	3,23	0,31	0,99	0,35	1,06	2,70
Wiesenrispe	NPK	9,30	4,28	0,27	0,94	0,35	1,11	2,59
	NPK_2	8,90	4,78	0,25	0,89	0,30	1,10	2,36
Poa trivialis	NP	5,78	2,43	0,22	0,77	0,30	1,06	2,80
Gem. Rispengras	NPK	6,29	3,18	0,27	0,70	0,27	1,01	2,81
	NPK_2	7,45	3,67	0,22	0,69	0,25	1,11	2,55
Avena elatior	NP	6,13	2,14	0,35	0,87	0,33	0,93	2,59
Französisches Raygras	NPK	7,22	3,00	0,25	0,75	0,29	0,99	2,43
(Glatthafer)	NPK_2	8,59	4,11	0,20	0,75	0,28	0,89	2,42
Lolium italicum	NP	6,63	2,10	0,65	1,07	0,24	0,95	2,02
Italienisches Raygras	NPK	7,68	3,35	0,34	0,93	0,25	0,99	1,98
(Welsches Weidelgras)	NPK_2	7,94	3,64	0,30	0,90	0,24	0,95	2,29
Cynosurus cristatus	NP	6,75	2,64	0,80	0,70	0,20	0,85	2,35
Kammgras	NPK	7,85	3,40	0,80	0,75	0,27	0,95	2,64
	NPK_2	8,97	3,85	0,82	0,85	0,30	0,90	2,47
Alopecurus pratensis	NP	7,27	3,35	0,20	0,83	0,40	1,20	3,16
Wiesenfuchsschwanz	NPK	8,63	4,70	0,11	0,77	0,38	1,21	2,81
	NPK_2	9,01	4,91	0,16	0,77	0,33	1,23	3,01
Anthoxanthum odoratum	NP	7,45	2,08	0,90	0,94	0,23	1,03	2,28
Ruchgras	NPK	6,82	3,01	0,48	0,81	0,29	0,93	2,35
	NPK_2	8,44	3,85	0,51	0,84	0,30	1,00	2,37
Agrostis alba	NP	8,58	3,27	0,21	0,70	0,30	1,17	3,03
Fioringras	NPK	9,51	4,47	0,22	1,12	0,42	1,01	2,53
	NPK_2	10,28	5,20	0,17	1,08	0,40	1,08	2,32

diesen Arbeiten ergab sich, daß die Zusammensetzung von Heu sehr stark von dem Wachstumsstadium, der botanischen Zusammensetzung der Narbe, der Bodenart, dem Klima und der Düngung abhängt. Unsere Ergebnisse bestätigen zum Teil die Untersuchungen der genannten Autoren, andererseits ergänzen sie dieselben durch Ausdehnung auf andere Gras- und Leguminosenarten sowie durch die besondere Berücksichtigung des Einflusses der Kalidüngung.

In Tabelle 14 wird über Untersuchungen an Reinsaaten von Gräsern berichtet, die den Einfluß verschiedener Kalidüngung auf gleichen Böden und unter gleichen Versuchsbedingungen zeigen. Bei diesen Untersuchungen, bei denen zum Teil recht hohe Kaligaben Anwendung fanden, die eine Luxusanreicherung an Kali ermöglichten, konnten wir merkliche Unterschiede im Kaligehalt der verschieden gedüngten Gräser erzielen.

Der Einfluß der Kalidüngung auf den Gehalt an den übrigen Mineralstoffen war nur gering. Eine gleichmäßige Tendenz wies die Veränderung des Kalkgehaltes auf, der bei den größeren Kaligaben etwas zurückging, allerdings sowohl absolut wie relativ in weit geringerem Maße, als der Zunahme des Kaligehaltes entsprochen hätte. Der Gehalt an Natron wurde wenig und unregelmäßig beeinflußt. In den Fällen, in denen infolge der Kalidüngung der Natrongehalt erhöht wurde, ist dies vielleicht dem Natriumgehalt der angewandten Kalidüngesalze zuzuschreiben; denn da es sich um praktische Versuche handelte, wurden keine Reinsalze, sondern die handelsüblichen Salze benutzt. Das gleiche gilt für die Beeinflussung des Gehaltes an MgO, die jetzt Gegenstand weiterer Untersuchungen ist. Der Gehalt an Phosphorsäure wurde nicht beeinflußt. Der Stickstoffgehalt wurde bei den meisten Gräserarten herabgesetzt.

Bei den Kleearten (Tabelle 15) bewirkte die Kalidüngung ein Ansteigen des Kaligehalts. Eine Änderung des Gehaltes an Na, Mg und P_2O_5 trat nicht ein. Auch der Stickstoffgehalt wurde durch die Kalidüngung nicht gesenkt, da Klee den Stickstoff aus der Luft entnimmt, so daß auch bei einer durch Kali hervorgerufenen stärkeren Entwicklung die Stickstoffversorgung des Klees nicht ins Minimum kommt. Der Kalkgehalt wurde durch Kali etwas vermindert.

In Tabelle 16 sind Untersuchungen von Luzerne wiedergegeben. Bei dem Versuche mit fränkischer Luzerne waren vier Teilstücke vor-

Tabelle 15. Zusammensetzung von Klee bei ver-

Ort Boden		Erntejahr	Grunddüngung je ha	Kalidüngung je ha
1. Rotklee.				
Dauerversuchsfeld	1. Schnitt	1932	45 kg P_2O_5 (Thomasmehl)	—
Leveste, Hannover				160 kg K_2O (40er Kalisalz)
				160 kg K_2O (Kalimagnesia)
				160 kg K_2O (Kainit)
	2. Schnitt			
Versuchswirtschaft	1. Schnitt	1933	80 kg P_2O_5 (Thomasmehl)	—
Steinach, Niederbayern				60 kg K_2O (40er Kalisalz)
				120 kg K_2O (40er Kalisalz)
				180 kg K_2O (40er Kalisalz)
	2. Schnitt			
Versuchsfeld Finkum, Holland		1931	120 kg P_2O_5 (Superphosphat)	—
Leichter Kleiboden				200 kg K_2O (40er Kalisalz)
2. Weißklee.				
Versuchsfeld Finkum, Holland		1931	120 kg P_2O_5 (Superphosphat)	—
Leichter Kleiboden				100 kg K_2O (40er Kalisalz)
				200 kg K_2O (40er Kalisalz)
Versuchsfeld Ammerzoden, Holland		1931	40 kg N (Kalksalpeter)	—
Kleiboden			150 kg P_2O_5 (Superphosphat)	160 kg K_2O (40er Kalisalz)
				320 kg K_2O (40er Kalisalz)

gesehen, so daß auch der Einfluß einer Phosphorsäuredüngung auf den Mineralstoffgehalt geprüft werden konnte, die aber in diesem Falle anscheinend keinen Einfluß auf den Mineralstoffgehalt ausübte. Die Düngung war im Jahre vor Beginn des Versuches als starke Vorratsdüngung verabreicht worden, so daß damit zu rechnen war, daß der Einfluß der verschiedenen Düngungsarten sich besonders stark geltend machen würde. Was den Einfluß der Kalidüngung betrifft, so ergab sich beim ersten Schnitt eine deutliche Erhöhung des Kaligehaltes, beim zweiten und dritten Schnitt war diese aber nicht zu bemerken. Hinsichtlich der übrigen Mineralstoffe war bei allen drei Schnitten die Veränderung infolge der Kalidüngung unregelmäßig; insbesondere war keine Verminderung des Kalkgehaltes festzustellen. Der Gehalt an Stickstoff, wie insbesondere an Reineiweiß, wurde durch die Kalidüngung nicht beeinflußt.

schiedener Düngung (bezogen auf Trockensubstanz).

Tr.-subst. %	Rein-asche %	K_2O %	Na_2O %	CaO %	MgO %	P_2O_5 %	N %	Cl %	Rein-eiweiß %	Roh-fett %	Roh-faser %	N-freie Extrakt-stoffe %	Ertrag dz/ha
14,2	7,54	1,97	0,28	2,48	0,60	0,70	2,75		14,10	2,11	23,94	43,66	
13,0	9,24	3,08	0,23	2,46	0,50	0,77	3,08		16,16	2,31	22,31	44,62	
13,1	9,08	3,05	0,23	2,30	0,50	0,76	3,00		14,50	2,29	22,90	44,28	(frisch)
12,5	9,52	3,52	0,32	2,24	0,56	0,80	2,96		15,20	2,40	23,20	43,20	NP 438,2
22,74	7,52	1,10	0,13	2,95	0,70	0,57	2,77		14,07	1,76	25,95	47,49	NPK (40er) 480,5
21,56	7,93	1,76	0,09	2,64	0,56	0,56	2,46		13,92	1,86	26,44	48,24	NPK (schwefels. Kali) 460,5
22,48	7,61	1,51	0,09	2,67	0,67	0,53	2,57		13,79	1,78	26,25	48,04	NPK (Kainit) 488,2
21,69	7,75	1,66	0,14	2,58	0,55	0,55	2,63		14,29	1,38	26,28	47,95	
92,71	6,51	1,63	0,09	1,90	0,65	0,53	2,07	0,09		1,33	34,29	44,78	58,0 Heu
93,30	7,29	2,34	0,08	1,84	0,59	0,55	2,19	0,13		1,50	35,19	42,08	61,0
92,53	8,63	3,23	0,07	1,73	0,51	0,57	2,43	0,18		1,45	33,78	40,56	65,0
94,66	8,92	3,41	0,06	1,89	0,46	0,54	2,49	0,16		1,64	31,50	42,05	65,0
93,40	6,94	1,72	0,08	2,01	0,64	0,50	2,08	0,14		1,79	33,58	44,58	35,5 Heu
93,99	6,37	2,42	0,07	1,89	0,52	0,47	2,01	0,12		1,80	33,13	45,93	33,5
94,72	7,85	2,74	0,06	1,81	0,49	0,47	1,98	0,12		1,93	33,80	43,78	35,5
95,47	7,99	3,07	0,06	1,71	0,46	0,45	1,94	0,15		1,87	33,86	44,01	47,0
90,03	10,75	1,32	0,50	3,61	1,29	0,76	3,68						98,5 (frisch)
89,20	9,63	2,04	0,38	2,95	0 93	0,64	3,15						174,0
90,01	9,57	1,28	1,13	2,61	0,69	1,11	4,01						108,5 (frisch)
89,85	9,96	1,96	1,07	2,50	0,65	1,00	4,05						217,1
89,98	10,62	2,67	0,90	2,46	0,57	0,96	4,02						210,0
90,90	8,71	1,76				0,98	3,61						27,0 Heu
91,94	8,24	2,35				0,83	3,22						37,0
90,98	8,24	2,06				0,76	3,19						36,0

Bei den holländischen Versuchen lag in einem Falle der Kaligehalt trotz der Kalidüngung sehr niedrig. In diesem Falle bewirkte die Kalidüngung eine starke Herabsetzung des Stickstoffgehaltes; in den übrigen Fällen wurde der Stickstoffgehalt im Gegensatze zu den obenerwähnten Versuchen ebenfalls etwas vermindert.

Der südafrikanische Versuch, bei dem auch völlig ungedüngte Teilstücke vorhanden waren, ließ keinen eindeutigen Einfluß der Düngung mit Kalk, Phosphorsäure oder Kali auf die Zusammensetzung der Luzerne erkennen.

Wenn man die eben besprochenen Tabellen nochmals vergleichend betrachtet, so kommt man zu der Feststellung, daß die durch die Art der Wiesen- und Weidepflanzen bestimmten Unterschiede im Mineralstoffgehalt im allgemeinen beträchtlicher sind als die durch die Düngung verursachten Verschiebungen. Dies gilt vor allem hinsichtlich des

Tabelle 16. Zusammensetzung von Luzerne bei ver-

Ort Boden	Ernte-jahr	Grunddüngung je ha	Kalidüngung je ha
Kreislehrgut Erbachshof, Bayern (fränkische Luzerne) 1. Schnitt	1930	—	—
		—	300 kg K_2O (40er Kalisalz)
		250 kg P_2O_5 (Thomasmehl)	—
		250 kg P_2O_5 (Thomasmehl)	300 kg K_2O (40er Kalisalz)
2. Schnitt			
3. Schnitt			
Versuchsfeld Hedel, Holland	1929	150 kg P_2O_5 (Superphosphat) 30 kg N (Kalksalpeter)	—
			120 kg K_2O (40er Kalisalz)
			240 kg K_2O (40er Kalisalz)
N.V. Kali-My.-Amsterdam, Holland 1. Schnitt	1930	120 kg P_2O_5 (Superphosphat)	—
			100 kg K_2O (40er Kalisalz)
			200 kg K_2O (40er Kalisalz)
2. Schnitt			
Versuchsfeld Finkum, Holland	1931	120 kg P_2O_5 (Superphosphat)	—
			100 kg K_2O (40er Kalisalz)
			200 kg K_2O (40er Kalisalz)
P. F. Wall, Oakleigh, Südafrika	1932/3	0	0
		Kalk	—
		Kalk, Phosphorsäure	—
		Kalk, Phosphorsäure	einfache Kaligabe
		Kalk, Phosphorsäure	erhöhte Kaligabe

Kalkgehaltes, der bei den Leguminosen ungefähr doppelt so hoch ist wie bei den Gräsern. Dieser Umstand macht sich geltend, wenn man den Einfluß der Kalidüngung auf den Mineralstoffgehalt des gemischten Bestandes einer Wiese oder einer Weide untersucht. Hier wird nämlich der rein chemische Einfluß des Kalis überlagert durch seinen Einfluß auf die botanische Zusammensetzung der Grasnarbe zugunsten der Leguminosen, und da diese etwa doppelt soviel Kalk enthalten wie die Gräser, ergibt sich als Summe der Wirkung der Kalidüngung neben einer Erhöhung des Kaligehaltes auch eine Erhöhung des Gehaltes an Kalk (Tabelle 17).

Die bei der Untersuchung der einzelnen Gräser- und Kleearten gefundenen Beziehungen zwischen der Kalidüngung und dem Gehalte an einzelnen Nährstoffen sind bei dem gemischten Bestande des Wiesen-

schiedener Düngung (bezogen auf Trockensubstanz).

Trocken-substanz %	Rein-asche %	K_2O %	Na_2O %	CaO %	MgO %	P_2O_5 %	N %	Rein-eiweiß %	Rohfaser %	Ertrag dz/ha
89,31	9,26	2,95	0,13	2,18	0,57	0,70	2,69	12,65		37,6
88,93	10,47	3,55	0,10	2,55	1,20	0,73	2,84	13,05	—	45,4
87,24	9,82	2,94	0,11	2,58	1,19	0,75	2,73	13,05	—	41,0
89,59	10,26	3,61	0,11	2,34	0,40	0,69	2,68	12,66		44,4
91,01	9,08	3,12	0,13	2,48	0,42	0,66	2,89	14,27		35,6
90,48	9,76	2,74	0,10	2,54	0,64	0,70	2,96	14,09	—	40,3
90,99	9,06	2,45	0,14	2,58	0,42	0,73	2,78	13,70		37,6
92,19	9,62	2,78	0,11	2,52	0,38	0,69	2,78	12,95	—	41,0
90,97	10,16	2,68	0,15	2,69	0,49	0,65	2,99	14,99	—	28,3
90,08	10,04	2,80	0,13	2,73	0,45	0,67	2,79	14,07	—	29,6
90,93	9,76	2,61	0,14	2,91	1,01	0,61	2,93	14,29		29,0
89,49	9,59	2,60	0,13	2,93	0,75	0,62	2,95	14,12	—	31,4
91,80	—	0,65	—	3,24	—	0,71	2,46	—	38,13	20,0
92,85	—	0,67	—	3,36	—	0,60	1,21	—	45,35	31,0
92,30	—	0,92	—	3,54	—	0,54	1,42	—	39,87	27,0
85,46	13,08	2,28	—	4,88	—	0,84	3,13	—	—	31,8
85,45	12,59	3,04	—	4,67	—	0,78	2,80	—	—	33,7
85,72	11,39	3,04	—	4,22	—	0,75	2,94	—	—	39,4
88,41	11,04	2,27	—	3,11	—	0,96	3,79	—	—	28,2
88,07	11,56	3,17	—	3,00	—	0,98	3,49	—	—	29,3
87,82	12,23	3,34	—	2,95	—	0,83	3,34	—	—	32,9
90,81	10,60	1,21	0,83	3,86	0,76	0,80	3,46	—	—	121,4 (frisch)
90,20	11,21	1,89	0,64	3,59	0,58	0,75	3,16	—	—	175,7
90,49	10,60	2,54	0,46	3,17	0,53	0,67	3,03	—	—	187,1
91,69	—	2,67	0,76	1,97	0,73	0,51	3,15	—	—	
92,17	—	2,77	0,76	1,88	0,73	0,50	3,15	—	—	
91,49	—	2,89	0,76	2,00	0,77	0,60	3,67	—	—	
92,30	—	2,98	0,76	1,74	0,74	0,56	3,32	—	—	
91,17	—	2,93	0,76	1,96	0,66	0,58	3,48	—	—	

heus oder Weidegrases vollkommen verwischt. Eine Anreicherung an Kali tritt wohl in den meisten Fällen auf, ist aber paradoxerweise nicht mehr überall festzustellen, da infolge der Kalidüngung der Anteil der kalireichen Unkräuter zurückgegangen ist. Der Gehalt an Kalk wurde infolge stärkeren Hervortretens der Leguminosen meist erhöht, ebenso auch der Gehalt an Stickstoff. Um zu zeigen, wie stark der Einfluß der Düngung auf die botanische Zusammensetzung der Narbe ist, führen wir nachstehende Angaben über die botanische Veränderung der Grasnarbe bei dem Versuche Zeestow an. Die Leguminosen hatten bei den NP-Teilstücken im Jahre 1933 gegen 1932 um 3,7% abgenommen, die Unkräuter und Fehlstellen um 3,4 bzw. 3,1% zugenommen. Die NPK_2-Teilstücke wiesen eine Zunahme der Leguminosen um 8,7%, eine Abnahme der Unkräuter um 9,6%, der Fehlstellen um 9% auf.

Tabelle 17. Chemische Zusammensetzung von Wiesenheu und Weide-

Ort Boden		Ernte jahr	Grunddüngung je ha	Kalidüngung je ha
Domäne Armada, Hessen sandiger Lehm (Weidegras)		1932	100 kg N (Kalkammonsalpeter)	--
			80 kg P_2O_5 (Thomasmehl)	80 kg K_2O (40er Kalisalz)
				150 kg K_2O (40er Kalisalz)
Studiengesellschaft für Grünlandfragen, Steinach/Niederby. Moorboden (Wiesenheu)	1. Schnitt	1933	20 kg N (Leunasalpeter)	--
			70 kg P_2O_5 (Thomasmehl)	100 kg K_2O (20er Kalisalz)
				200 kg K_2O (20er Kalisalz)
	2. Schnitt			
Zeestow, Brandenburg Anmooriger Sand auf Sandunterlage (Luchboden) (Weidegras)	1. Schnitt	1932	80 kg N (Kalkammonsalpeter)	-
			72 kg P_2O_5 (Superphosphat)	120 kg K_2O (40er Kalisalz)
				200 kg K_2O (40er Kalisalz)
	2. Schnitt			
	3. Schnitt			
Zeestow, Brandenburg Anmooriger Sand auf Sandunterlage (Luchboden) (Weidegras)	1. Schnitt	1933	40 kg N (Kalkammonsalpeter)	--
			72 kg P_2O_5 (Superphosphat)	120 kg K_2O (20er u. 40er Kalisalz)
				200 kg K_2O
	2. Schnitt			
	3. Schnitt			

Bei diesem Versuch war also offensichtlich die botanische Veränderung der Grasnarbe, die durch die Düngung verursacht wurde, von einer Größenordnung, welche die chemische Beeinflussung der Zusammensetzung der einzelnen Pflanzen vollständig überdeckte.

Literatur.

1. LUNDEGÅRDH, H., Die Nährstoffaufnahme der Pflanzen, Jena 1932.
2. MACH, F., u. R. HERRMANN, Die Landw. Versuchsstationen Bd. 119, H. 1—6 (1934).
3. THEEL, E., Die Landw. Versuchsstationen Bd. 118, H. 1/2 (1934).

Zusammenfassung.

Wenn wir den Einfluß gesteigerter Kaligaben auf die Zusammensetzung der Ernteprodukte betrachten, so finden wir als Hauptwirkung, daß der Kaligehalt durch eine erhöhte Kalizufuhr in vielen Fällen

gras bei verschiedener Düngung (bezogen auf Trockensubstanz).

Rein-asche %	K_2O %	Na_2O %	CaO %	MgO %	P_2O_5 %	N %	N-freie Extraktstoffe %	Rohfett %	Rohfaser %	Ertrag
8,82	4,71	0,11	0,90	0,31	1,04	3,85	38,63	3,91	23,33	Stärkewert kg/ha 2450
9,61	4,97	0,12	1,04	0,31	1,04	3,99	38,21	3,80	21,34	2646
9,80	4,74	0,16	1,29	0,32	1,11	4,08	39,39	3,89	19,36	2801
3,73	1,35	0,11	0,91	0,45	0,60	1,50	51,67	2,02	31,69	29,5 dz Heu
5,59	2,55	0,15	1,11	0,47	0,71	1,71	47,46	1,95	32,12	39,2
6,28	2,68	0,15	1,13	0,51	0,69	1,94	45,53	1,93	31,83	31,9
5,06	1,33	0,15	1,40	0,58	0,72	1,56	51,31	2,98	27,53	12,7
6,49	2,23	0,13	1,47	0,56	0,81	1,87	48,60	3,24	26,60	18,3
6,14	2,28	0,12	1,23	0,54	0,79	1,72	49,34	3,07	27,37	19,5
8,08	4,15	0,14	0,86	0,28	0,65	3,42	40,23	3,28	24,34	
8,49	3,47	0,17	1,12	0,46	0,50	4,24	35,91	2,18	24,76	
9,39	4,38	0,25	1,17	0,41	1,00	4,36	33,26	4,00	22,10	
9,24	4,18	0,14	1,43	0,39	0,62	3,45	35,44	3,86	25,82	Stärkewert kg/ha
9,10	4,28	0,16	1,41	0,36	0,64	3,48	35,90	3,58	25,89	NP 1255
8,93	3,40	0,31	1,46	0,46	0,98	3,89	31,69	4,35	24,56	NPK 2411
9,89	5,15	0,16	1,21	0,44	0,97	3,87	33,44	3,22	24,50	NPK_2 2808
8,60	4,00	0,19	1,30	0,45	0,96	3,61	32,91	3,72	22,52	
9,01	4,56	0,19	1,19	0,47	1,03	3,84	35,18	3,87	21,92	
—	5,71	0,08	1,16	0,34	1,08	4,05	—	—	—	
—	4,49	0,14	1,30	0,43	0,90	3,69	—	—	—	
—	4,38	0,16	1,22	0,43	0,95	3,55	—	—	—	
—	4,95	0,05	1,23	0,40	1,00	3,93	—	—	—	NP 1766
—	4,30	0,13	1,52	0,49	0,93	3,36	—	—	—	NPK 2007
—	3,78	0,11	1,29	0,40	0,93	3,04	—	—	—	NPK_2 2873
—	3,65	0,07	1,25	0,43	0,73	3,43	—	—	—	
—	2,47	0,11	1,30	0,54	0,62	2,86	—	—	—	
—	4,19	0,09	1,28	0,39	0,89	3,95	—	—	—	

erhöht worden ist. Eine Ausnahme davon bilden im allgemeinen die Samen, die ihre mineralische Zusammensetzung auch unter dem Einfluß wechselnder Ernährungsverhältnisse nicht oder nur wenig verändern.

Der Stickstoffgehalt der Ernteprodukte wird durch verstärkte Kalizufuhr meist etwas gesenkt. Die Senkung ist besonders deutlich, wenn die Erträge durch die Volldüngung mit Kali gegenüber der einseitigen Düngung mit Stickstoff und Phosphorsäure wesentlich erhöht worden sind, so daß der Stickstoff ins Minimum gedrängt wird. Ferner tritt in den Fällen eine deutliche Herabsetzung ein, in denen der Stickstoffgehalt der Pflanzen von dem NP-Teilstück infolge Düngung mit leicht aufnehmbarem Stickstoff übermäßig hoch war; es ist anzunehmen, daß dies besonders den Nichteiweiß-Stickstoff betrifft. Bei den Gräsern ist

die Senkung des Stickstoffgehaltes stets dann deutlich, wenn der Stickstoffgehalt der Pflanzen von den NP-Teilstücken sehr hoch war. Es ergibt sich daraus eine Bestätigung der bekannten Möglichkeit, bei verstärkter Kaligabe auch erhöhte Stickstoffgaben zur Ertragssteigerung ausnutzen zu können, ohne daß ungünstige Nebenwirkungen einer zu starken Anreicherung der Pflanzen mit Stickstoff eintreten. Die geringe Senkung des prozentualen Stickstoffgehaltes durch die Kalidüngung steht nicht im Widerspruch mit der Anschauung, daß Kali bei der Eiweißbildung mitwirkt; denn in allen Fällen, in denen eine merkliche Senkung des Stickstoffgehaltes eintrat, war die durch Kali bewirkte Ertragssteigerung so groß, daß die Gesamtmenge des von den Pflanzen je Hektar aufgenommenen Stickstoffs vergrößert wurde.

Beziehungen zwischen der Kalidüngung und der Phosphorsäureaufnahme der Pflanzen ließen sich aus unseren Versuchen nicht feststellen.

Was die Einwirkung einer gesteigerten Kalizufuhr auf die Aufnahme anderer Kationen betrifft, so ist selbstverständlich, daß die Aufnahmefähigkeit der Pflanze für Basen ihre Grenzen hat und daß bei starkem Angebot einer Base, wie z. B. des Kaliums, die Aufnahme der anderen Basen etwas zurückgedrängt wird. Von Interesse ist hier besonders der Antagonismus zwischen Kali und Kalk, der nach dem EHRENBERG-schen Kalk-Kali-Gesetz dazu führt, daß sowohl Kalk die Aufnahme von Kali wie auch Kali die von Kalk beeinträchtigt. Ohne auf die Erklä-klärungsversuche einzugehen, die diese Erscheinung auf Beeinflussungen der kolloidchemischen Verhältnisse der Zellmembrane zurückführen, haben wir uns darauf beschränkt, zu untersuchen, in welchem Umfange eine Herabsetzung des Kalkgehaltes durch die Kalidüngung stattgefunden hat. Bei Halmfrüchten ist im Samen der Kalkgehalt überhaupt nicht vermindert worden; im Stroh wurde er dagegen gesenkt, wenn der Kalkgehalt des Strohes von dem NP-Teilstück sehr hoch war. Bei Kartoffeln, die an und für sich nur einen geringen Kalkgehalt aufweisen, war eine Veränderung nicht festzustellen. Bei Gräsern in Reinsaat trat fast stets eine Verminderung des Kalkgehaltes ein; bei Klee und Luzerne war diese Senkung nicht festzustellen. Der Einfluß der Kaliernährung auf den Gehalt an Natrium und Magnesium geht aus unseren Versuchen nicht hervor, da die zur Düngung benutzten Kalisalze als Nebenbestandteile Natrium und Magnesium enthielten.

Der Umfang der durch die Kalidüngung entstehenden Veränderungen in der chemischen Zusammensetzung der Pflanzen darf nicht überschätzt werden. So sind selbst hinsichtlich des Gehaltes an Kali die durch die Verschiedenheiten des Standortes und der Witterung bedingten Unterschiede größer als die durch die Kalidüngung entstehende Verschiebung der chemischen Zusammensetzung der Pflanze. Bei den gemischten Beständen von Wiese und Weide treffen die von uns bei den einzelnen Pflanzenarten festgestellten Veränderungen überhaupt nicht mehr zu, da sie vollkommen von dem entgegengesetzten Einfluß der botanischen Veränderung der Grasnarbe überdeckt werden.

SUMMARY.

The main effect of heavy applications of potash fertilisers is to increase the potassium content of the produce. An exception to this general rule is afforded by the seeds of most crops, the composition of which undergoes little or no change as a result of variations in nutrition.

The nitrogen content of agricultural produce tends to be reduced by high dressings of potash. The reduction of the nitrogen content is usually the more marked, the greater the increase in yield produced by the addition of potash to the fertiliser, as in such cases nitrogen tends to become the limiting factor. Furthermore, a marked reduction of the nitrogen content due to potash manuring is observed in cases in which plants treated with an NP fertiliser contain excessive amounts of easily soluble nitrogen compounds; in such cases it is probably the content of non-protein nitrogen that is affected. In the case of grasses the reduction of the nitrogen content due to potash is always very marked when the nitrogen content of the plants on the NP plots is very high.

These observations serve to confirm the well-known theory that it is possible by increasing the potash content of the fertiliser to enable the crop to utilise larger amounts of nitrogen and thus produce higher yields, without fear of unfavourable secondary effects due to an excessive increase in the nitrogen content of the plants. The slight reduction in the percentage content of nitrogen due to potash cannot be regarded as contradicting the opinion that potash plays a part in the formation of protein, for, in every case in which potash reduced the nitrogen

content of the plant, the increase in yield due to potash was so great, that the total amount of nitrogen absorbed per acre by the crop was also considerably increased.

The results of our investigations showed no correlation between potash manuring and the absorption of phosphoric acid by the crop.

As regards the effect of increased applications of potash on the assimilation of other cations, it is clear that there is a limit to the absorption of bases by the plant and that marked increases in the absorption of one base, e.g. of potash, will result in a reduction of the absorption of other bases. In this connection the observed antagonism between potassium and calcium which, according to EHRENBERG's lime/potash law, results in large applications of lime repressing the absorption of potash and vice versa, is of particular interest. We have refrained from an examination of the attempts to explain this antagonism by the mutually opposed influence of both ions on the colloid-chemical properties of the cell but have confined our investigations to determining the extent to which the calcium content of the plant is reduced by potash manuring. In the case of cereals the calcium content of the grain was not affected, while that of the straw was reduced, especially when the plants on the NP plots contained a large amount of calcium. In the case of potatoes, the calcium content of which is naturally low, no reduction was observed as a result of potash manuring. The calcium content of grasses was in almost every case reduced by applications of potash, while that of clover and lucerne remained unchanged.

As the potash fertilisers used in these experiments contained small quantities of sodium and magnesium, no conclusions regarding the effect of potash manuring on the assimilation of Na and Mg could be drawn from the results.

The extent to which potash manuring can influence the chemical compostion of the plant should not be overestimated, as the effect of soil and climatic conditions in this respect is very often greater than that of manuring. In the case of grassland with a mixed flora any changes in the chemical composition of the individual plants are completely masked by the changes produced in the botanical composition of the sward.

2. Qualität der Ernteprodukte.

Die Faktoren, welche die Qualität eines Ernteproduktes beeinflussen, sind so vielseitig, daß aus Veränderungen der chemischen Zusammensetzung eindeutige Schlüsse auf eine Veränderung der Qualität nicht immer gezogen werden können. Eine Erhöhung des Zucker- oder Säuregehaltes z. B. kann in einem Falle von Vorteil, in einem anderen Falle von Nachteil auf den Geschmack sein. Nur in wenigen Fällen verfügen wir über analytische Methoden, die eine Beurteilung der Qualität ermöglichen; im allgemeinen sind wir jedoch bei der Beurteilung der Qualität auf das Ergebnis von Geschmacksprüfungen angewiesen.

Für die Beurteilung des Einflusses der Düngung auf die Beschaffenheit unseres wichtigsten Nahrungsmittels, des Brotes, haben wir einen objektiven Maßstab in der Bestimmung der Backfähigkeit der Mehle. Eine etwaige Beeinflussung der Backfähigkeit durch Düngung würde wichtiger sein als die Verbesserung des Handelswertes durch Erhöhung des Hektolitergewichtes bzw. Tausendkorngewichtes, über die wir in Band I, S. 155, berichteten. Die Beeinflussung der Backfähigkeit durch Kalidüngung wurde im Institut für Bäckerei, Berlin, an Weizenmehlen, die von unseren Kaliversuchen stammten, untersucht (1).

Die in den Tabellen 1—3 besprochenen Versuche sind der Ernte 1929 entnommen. Die auf Trockensubstanz bezogenen Durchschnittswerte der NP- und NPK-Parzellen für das Tausendkorngewicht beliefen sich beide auf 37,1, waren also in ihrer Gesamtsumme gleich (Tabelle 1). Sieht man sich jedoch die Einzelergebnisse an, so scheint sich doch eine gewisse Tendenz zur Erhöhung des Korngewichtes anzuzeigen, da in 15 von 24 Fällen eine Erhöhung eintrat.

In bezug auf den Proteingehalt war die normale Volldüngung der einseitigen Düngung NP überlegen. Nur in zwei Fällen wies die Ernte der Volldüngungsparzellen einen verminderten Proteingehalt auf, während in sieben Fällen gleiche, in elf Fällen erhöhte Eiweißmengen festgestellt wurden. Von den zwölf Parzellen mit erhöhter Kaligabe wiesen nur drei Proben eine Steigerung des Proteingehaltes gegenüber den NP-Parzellen auf.

Eine Steigerung des N-Gehaltes im Korn hatte nicht immer eine gleich hohe Steigerung des Mehlproteins zur Folge (Tabelle 2), auch die Art der Unterschiede zwischen den NPK- und den NP-Parzellen wichen von den beim Korn ermittelten Unterschieden in einigen Fällen ab. Bei den Proben, bei denen die Differenzen nur gering waren, so daß die Konstanten zum Teil schon bei der Beurteilung des Kornes gleichgesetzt wurden, waren Schwankungen nach oben und nach unten von vornherein zu erwarten. Die Proben mit den + - bzw. —-Ausschlägen haben jedoch in der Mehrzahl die Tendenzrichtung nicht verändert.

Im Gesamtdurchschnitt sinkt der Unterschied im Gehalt an Trockenklebereiweiß zwischen den NP- und den NPK-Proben beim Mehl auf 0,1 herab.

Tabelle 1.

Laufende Nummer	Korn											
	Protein						1000-Korn-Gewicht					
	absolut i. Trockensubstanz				relativ (NP = 100)		absolut i. Trockensubstanz				relativ (NP = 100)	
	un-gedüngt	NP	NPK	NPK_2	NPK	NPK_2	un-gedüngt	NP	NPK	NPK_2	NPK	NPK_2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
München 1	13,0	12,7	12,8		101		25,7	36,7	37,7		103	
München 2	14,6	13,7	15,6		114		31,7	42,2	34,8		82	
Nürnberg 3	13,3	14,1	14,1	13,5	100	96	29,1	28,9	29,2	29,7	101	103
Kiel 4		12,0	12,0	12,7	100	106		39,1	38,9	39,0	99	100
Halle 5		10,4	11,1		107			35,5	35,5		100	
Halle 6		14,7	14,0		95			37,4	38,0		102	
Königsberg 7		10,6	10,6	10,4	100	98		37,6	37,8	37,1	101	99
Bonn 8		11,1	11,8	10,9	106	98		34,1	34,7	36,2	102	106
Bonn 9		10,8	10,4	10,5	96	97		35,1	35,1	34,7	100	99
Darmstadt 10		9,5	9,9	9,7	104	102		34,9	35,3	35,2	101	101
Darmstadt 11		10,9	11,0	10,5	101	96		39,9	38,8	39,7	97	99
Darmstadt 12		11,2	11,8	13,2	105	117		40,8	39,1	47,8	96	117
München 13		13,0	13,1		101			36,8	42,0		114	
Nürnberg 14		12,6	12,7		101			37,0	38,4		104	
Kassel 15		13,6	16,9		124			40,5	40,3		100	
Stuttgart 16		11,4	11,9		104			40,4	41,0		101	
Stuttgart 17		11,5	11,8		103			40,2	38,8		97	
Stuttgart 18		13,6	13,9		102			28,9	29,0		100	
Stuttgart 19		11,0	12,0		109			42,3	43,1		102	
Oberbay. 20		13,0	13,2		102			32,7	33,9		102	
Jena 21	9,9	9,4		10,4		111	38,1	37,7		39,9		106
Jena 22	9,7		10,3	9,5			37,5		40,5	38,6		
Jena 23	11,8	11,9		12,8		108	44,7	43,4		46,1		106
Jena 24	11,0	12,0		12,4		103	39,9	42,1		41,9		100
Durchschnitt 1—20		12,1	12,5		103,8	101,3		37,1	37,1		100,2	103,0
Gesamtdurchschnitt					(103,8)	102,9					(100,2)	103,3

Auffallend ist bei Versuch 10 (Tabelle 2) der niedrige Klebergehalt der NPK_2-Parzelle. Dieser hat aber nichts mit der Düngerwirkung zu tun, sondern mit einer Schädigung bei der Ernte, worauf schon die weiche, sehr dehnbare Beschaffenheit dieses Klebers, verbunden mit einem geringen inneren Widerstand, hindeutete. Auch bei der Prüfung der backtechnischen Eigenschaften zeigten diese Proben ein wider-

Tabelle 2.

Laufende Nummer	Mehl: Protein absolut ungedüngt	NP	NPK	NPK₂	Protein relativ (NP = 100) NPK	NPK₂	Kleber, trocken absolut ungedüngt	NP	NPK	NPK₂	Kleber relativ (NP = 100) NPK	NPK₂
1	11,2	11,0	11,3		103		8,5	8,2	8,4		102	
2	13,1	12,7	14,3		113		9,9	8,9	10,6		119	
3	11,3	12,4	11,7	11,6	94	94	8,7	9,5	9,1	8,9	96	94
4		10,9	10,5	11,2	96	103		8,5	8,2	8,7	96	102
5		8,7	9,6		110			6,5	7,1		109	
6		12,3	11,8		96			9,9	9,4		95	
7		8,9	9,8	8,5	110	96		6,5	6,3	6,4	97	98
8		10,1	10,5	9,4	104	93		7,2	7,7	7,2	105	99
9		9,0	8,5	8,7	94	97		6,8	6,2	6,4	91	94
10		8,1	7,8	8,1	96	100		5,8	5,9	1,6	102	28
11		8,9	9,6	9,5	108	107		6,5	7,4	6,8	114	105
12		10,0	10,6	11,8	106	118		7,1	7,2	8,8	101	124
13		10,6	10,9		103			8,8	8,6		98	
14		10,8	11,0		102			8,2	8,3		101	
15		12,1	14,6		121			9,1	11,0		121	
16		10,4	10,3		99			7,6	7,4		97	
17		9,8	9,9		101			7,5	7,6		101	
18		11,9	11,6		97			8,8	8,3		94	
19		10,2	10,7		105			7,2	7,3		101	
20		11,8	11,6		98			8,5	8,6		101	
21	8,9	7,8		8,6		110	6,2	5,3		6,2		117
22	8,0		8,1	7,6			5,5		5,6	5,2		
23	10,3	10,5		10,9		104	7,8	8,1		8,4		104
24	9,8	10,5		11,2		107	7,4	8,1		8,5		105
Durchschnitt 1—20		10,5	10,8		102,8	101,0		7,9	8,0		102,1	93,0
Gesamt-durchschnitt					102,8	102,6					102,1	97,3
Durchschnitt 1—9, 11—24											102,3	104,2

sprechendes Verhalten, so daß sie bei der Beurteilung der Ergebnisse ausgeschaltet wurden.

Die Prüfung der backtechnischen Eigenschaften der Weizenmehle aus obigen Versuchen erfolgte im Backversuch. Hierbei zeigten die Mehle hinsichtlich der Teigausbeuten (Tabelle 3) keine nennenswerten

Tabelle 3. (NP = 100.)

Laufende Nummer	Teigausbeute				Volumausbeute				Porung				Backzahl			
	Ungedüngt	NP	NPK	NPK_2	Ungedüngt	NP	NPK	NPK_2	Ungedüngt	NP	NPK	NPK_2	Ungedüngt	NP	NPK	NPK_2
1	99	100	98		96	100	96		8	7	6—7		90	100	75	
2	99	100	99		105	100	98		9	9	8—9		118	100	92	
3	99	100	98	99	105	100	114	101	6—7	6	6—7	6—7	159	100	252	119
4		100	101	101		100	107	105		8	8	8		—	—	
5		100	103			100	99			8	8			100	81	
6		100	99			100	107			9	8—9			100	235	
7		100	101	100		100	102	101		8	8	8		100	108	105
8		100	100	99		100	97	97		6—7	7	7		100	86	88
9		100	99	99		100	101	97		7	8	8		100	123	92
10		100	100	97		100	87	89		8—9	8	5		100	8	15[1])
11		100	102	100		100	97	101		8	8	7—8		100	85	95
12		100	101	102		100	102	103		8	8	8		100	125	131
13		100	100			100	100			8	7—8			100	94	
14		100	101			100	107			8	9			100	151	
15		100	102			100	110			6—8	8			—	—	
16		100	100			100	104			7—8	7—8			100	143	
17		100	101			100	102			7—8	7			100	113	
18		100	99			100	92			6—7	7—8			100	75	
19		100	100			100	104			8	7—8			100	222	
20		100	100			100	114			7—8	7—8			100	238	
21	101	100		101	97	100		93	7	7		7—8	74	100		44
22									8—9		8—9	8—9				
23	100	100		101	109	100		103	8	7—8		8	271	100		153
24	100	100		101	104	100		98	8	8		8	220	100		50
	99,7	100	100,2	100	102,7	100	102	98,9					155,3	100	128,1	89,2

[1]) Schlechte Gebäckbeschaffenheit.

Unterschiede. Größere Unterschiede traten bei der Volumausbildung auf. Hier geben die errechneten Durchschnittszahlen der Parzellen NP und NPK der ersten 20 vergleichbaren Versuche die Richtung und die Höhe der Volumsteigerung kennzeichnend wieder. Demnach hatten die Mehle der Volldüngungsparzellen höhere Volumausbeuten zu verzeichnen. Wenn auch Schwankungen vorhanden sind, so ist die Tendenz doch deutlich. Sie kommt ebenfalls in den Backzahlen zum Ausdruck, da das Porenbild der einzelnen Gebäcke wenig voneinander abweicht. Die Weizenproben von den Volldüngungsparzellen NPK haben im Backversuch bessere Ergebnisse geliefert als die der NP-Parzellen.

Aus dem Jahre 1931 wurde das Material von 2 Weizenversuchen aus Pommern der Prüfung unterzogen (Tabelle 4).

Tabelle 4. Kornernte in kg/ha.

Versuch Nr.	Ungedüngt	NP	NPK_1 80 kg/ha K_2O	NPK_2 120 kg/ha K_2O	NPK_3 160 kg/ha K_2O
I	230	630	750	1000	—
II	790	1270	1480	1760	1970

Bei diesen Versuchen (Tabelle 4) waren die Erträge der ungedüngten Parzellen äußerst niedrig, und die Ertragssteigerungen durch die Düngung daher beträchtlich; sie betragen bis zum Vierfachen der Ernte des ungedüngten Teilstücks. Unter diesen Verhältnissen war zu erwarten, daß sich etwaige Einwirkungen der Düngung auf die qualitativen Eigenschaften der Ernte sowie auf die Backfähigkeit in besonders starkem Maße abzeichnen würden. Im besonderen mußte sich hier erweisen, in welcher Richtung ein in mengenmäßiger Hinsicht erzielter Düngungserfolg sich in den Güteeigenschaften auswirkt, und ob die vielfach erhobenen Behauptungen, daß die durch künstliche Düngung gesteigerte Ertragsleistung der Pflanzen gleichzeitig eine Wertminderung in qualitativer Hinsicht mit sich bringt, zu Recht bestehen.

Die Kornkonstanten sind in der folgenden Tabelle 5 zusammengestellt.

Die Proben aus Versuch II wiesen einen höheren Auswuchsgehalt auf, doch waren mit Ausnahme von Parzelle 3 (80 kg/ha K_2O) die Auswuchsprozente wenig unterschiedlich, so daß eine Auswertung des Versuches noch möglich ist. Im Versuch I ist der Auswuchsprozentsatz dagegen so niedrig, daß er bei der Besprechung außer acht gelassen werden kann.

Hektolitergewicht und Tausendkorngewicht der Volldüngungsparzellen liegen bei beiden Versuchen höher als die Werte der ungedüngten Parzellen. Das Tausendkorngewicht der NPK-Parzellen war in beiden Fällen höher als das der NP-Parzellen.

Tabelle 5. Untersuchung des Korns.

	Wasser %	Hektoliter-gewicht kg	1000-Korngewicht g	Protein i. d. Tr. %	Auswuchs %
I. Versuch					
1. Ungedüngt	11,2	70,1	24,4	14,0	—
2. ohne Kali (NP)	10,9	72,3	25,2	15,7	1
3. 80 kg/ha $K_2O(NPK_1)$ . . .	11,3	75,5	30,2	15,5	1
4. 120 kg/ha $K_2O(NPK_2)$ . . .	11,1	75,9	29,7	14,7	1
II. Versuch					
1. Ungedüngt	11,3	78,2	27,6	14,6	17
2. ohne Kali (NP)	11,1	79,7	29,1	13,8	12
3. 80 kg/ha $K_2O(NPK_1)$	11,6	79,0	30,4	13,0	9
4. 120 kg/ha $K_2O(NPK_2)$ . . .	11,3	78,8	29,8	13,9	16
5. 160 kg/ha $K_2O(NPK_3)$ . . .	11,0	78,6	29,4	15,0	13

Hinsichtlich des Proteingehaltes im Korn sind die Ergebnisse weniger eindeutig. Von einer eindeutigen Beeinflussung der stofflichen Zusammensetzung des Korns durch die Kalidüngung kann in diesen Versuchen nicht ohne weiteres gesprochen werden.

Tabelle 6. Ergebnisse der Mehluntersuchung.

	Wasser %	Asche i. d. Tr. %	Protein i. d. Tr. %	Protein % vom Kornprot.	Trock. Kleber i. d. Tr. %	Trock. Kleber % vom Mehlprot.	Spez. Quellzahl
I. Versuch							
O . . .	11,9	0,79	13,0	92,7	8,8	67,6	19,2
NP. . .	11,8	0,78	14,3	91,1	10,3	71,8	16,4
NPK_1 .	11,8	0,78	14,2	91,6	10,4	73,4	18,0
NPK_2 .	11,9	0,60	13,2	89,9	9,5	72,0	19,0
II. Versuch							
O . . .	11,9	0,77	13,5	92,9	9,3	68,8	18,0
NP. . .	11,8	0,64	12,9	93,0	9,2	71,6	21,0
NPK_1 .	11,6	0,75	12,4	95,7	8,6	69,4	28,0
NPK_2 .	11,8	0,75	13,5	97,3	9,6	71,2	23,8
NPK_3 .	11,8	0,65	13,8	92,4	9,2	66,6	19,6

Die Ergebnisse der Mehluntersuchung lassen ebenfalls keine eindeutigen Unterschiede erkennen (Tabelle 6). Auch die rein empirische Beurteilung des Klebers auf Widerstandsfähigkeit, Dehnbarkeit und Farbe erbrachte keine Unterschiede.

Im Backversuch (Tabelle 7) wiesen die Weizenproben aus Versuch I hinsichtlich der Teig- und Brotausbeute keine beachtenswerten Unterschiede auf. Die Volumentwicklung bewegte sich mit Erhöhung der Düngergaben in ansteigender Linie; die Zunahmen waren zwar nur gering, doch war die Tendenz unverkennbar. Die Neigung zum Absetzen der Gebäckkrume von der Oberkruste bei sämtlichen Proben deutete eine gewisse Schwäche der Kleber an.

Tabelle 7. Backversuche. (Die Werte sind auf ein Mehl mit 15 % Wassergehalt umgerechnet.)

Versuch	Teigbeschaffenheit	Teigausbeute	Volumausbeute	Porung	Backzahl
I 1	außergewöhnlich zäh, sehr gut trocken; grau	159	343	7—8	41
2		158	356	7—8	53
3		159	358	7—8	55
4		158	368	7	61
II 1	außergewöhnlich zäh, außergewöhnlich trocken; grau	163	437	8	119
2		164	443	8	122
3	außergewöhnlich zäh, sehr gut trocken; grau	163	416	8	108
4	außergewöhnlich zäh, außergewöhnlich trocken; grau	164	419	8	110
5		166	457	8	129

Der Versuch II lieferte wesentlich höhere Teig- und Volumausbeuten, so daß bei gleich guter Porung der Gebäckkrumen auch die Backzahlen höhere waren; diese schwankten zwischen 108 und 129.

Die beiden Versuche bestätigen die früheren Ergebnisse, daß eine Wertminderung der Ernten durch die Düngung weder in der physikalischen und chemischen Beschaffenheit des Kornes und des Mehles noch hinsichtlich seines backtechnischen Verhaltens und seiner Verarbeitungsfähigkeit festzustellen war. Selbst bei dem um ein Mehrfaches gesteigerten Ernteertrag, wie er im vorliegenden Falle durch die Handelsdünger erzielt worden war, haben sich dafür keine Anhaltspunkte ergeben. In den meisten Konstanten ergaben sich vielmehr deutlich bessere Werte gegenüber Ungedüngt, so beim Hektolitergewicht, Tausendkorngewicht, zum Teil auch beim Protein und mit gewissen Einschränkungen auch bei der Volumausbeute und der Backzahl. Die zusätzlichen Kaligaben haben daran nichts geändert.

Bei dem nächstwichtigen Hauptbestandteil unserer Nahrung, der Kartoffel, war es uns nicht möglich, auf Grund der Analyse eine Beein-

flussung des Speisewertes vorherzusagen, denn die mannigfachen Ursachen, die den Speisewert der Kartoffel beeinflussen, sind uns in ihrer Verschiedenheit noch wenig bekannt. Wir mußten daher für die Beurteilung des Einflusses der Düngung auf die Qualität der Kartoffeln die Geschmacksprüfung heranziehen. Der Geschmack ist zwar subjektiv verschieden, trotzdem hat sich diese Methode als brauchbar erwiesen, wenn eine genügend große Anzahl von sachverständigen Teilnehmern zu den Prüfungen herangezogen und die Prüfung blind vorgenommen wurde, d. h. wenn die verschiedene Düngung erst bekanntgegeben wurde, nachdem die Bewertung erfolgt war[1]).

Wir haben über eine derartige Probe bereits in Bd. I, S. 157 berichtet. Bei mehrfach wiederholten Geschmacksprüfungen an Kartoffeln der Ernte 1934 unseres Dauerdüngungsversuches erhielten die beste Bewertung die Kartoffeln, die eine Volldüngung mit Kalimagnesia erhalten hatten. Merkwürdigerweise wurden auch die mit Kainit gedüngten Kartoffeln verhältnismäßig günstig beurteilt. Um individuelle Verschiedenheiten der einzelnen Kartoffelknollen auszuschalten, wurden sämtliche Kartoffeln jeder Probe durch ein Sieb gepreßt und die Untersuchung an der zerkleinerten Durchschnittsprobe vorgenommen.

Auch bei Untersuchungen über den Einfluß der Düngung auf die Qualität von Gemüse und Obst brachte uns die chemische Analyse nicht viel weiter. Wir konnten zwar verschiedentlich Erhöhungen des Zuckergehaltes, des Gehaltes an Rohfaser, an Schwefel, Veränderungen des Säuregehaltes und p_H-Verschiebungen als Folge der Düngung nachweisen, es fehlte uns aber der Schlüssel, um aus den Ergebnissen der Analysen eine etwaige Beeinflussung der Qualität abzuleiten. Auch bei diesen Produkten waren wir im wesentlichen daher auf die Geschmacksprüfung durch Sachverständige angewiesen.

Bei Mohrrüben, Sellerie, Petersilienwurzel, wie auch bei Tomaten und Äpfeln wurden die Produkte der NPK-Parzellen am

[1]) Über das Ergebnis einer am 7. Februar 1935 vorgenommenen Prüfung wird z. B. in der Beilage des Nachrichtendienstes des Reichsnährstandes vom 7. Februar 1935 von einer sachverständigen Teilnehmerin wie folgt berichtet: „Wie stets bei diesen Proben, die ich seit Jahren mitmache, überraschte die Einmütigkeit im Urteil der Prüfer, die ihre Nummer und Wertung abgaben, ehe die Öffnung der verschlossenen Briefumschläge Näheres über die beurteilten Proben brachte.

besten beurteilt; die bessere Qualität ging hier anscheinend mit einem gesteigerten Zuckergehalt parallel. Besonders drastische Unterschiede zwischen den NPK- und NP-Parzellen traten bei Sauerkraut auf; hier hat wahrscheinlich der höhere Kohlehydratgehalt der Proben von den NPK-Parzellen die Gärung günstig beeinflußt.

Um zu verhüten, daß Geschmacksunterschiede durch die Zubereitung verwischt würden, wurde die Prüfung vielfach an Rohkost vorgenommen, wobei die Gemüse auf einer Rohkostraffel zerkleinert wurden. Fast immer war der Geschmack der mit Volldüngung versehenen Gemüse der beste. Neben ihnen hielten sich die von guten Böden kommenden ungedüngten, während die einseitig behandelten im Geschmack wie in der Haltbarkeit (Konserven) unterlagen.

Interessante Unterschiede ergab die Betrachtung der verschieden gedüngten Ernteprodukte unter der Hanauer Analysenlampe. Vielfach zeigte sich bei den Produkten (z. B. Kartoffeln, Sellerie, Karotten), die besonders große Geschmacksunterschiede bei verschiedener Düngung aufgewiesen hatten, eine verschiedene Fluoreszenz im ultravioletten Licht. Wir vermuten, daß bei der einseitigen Düngung eine Anreicherung an stickstoffhaltigen Verbindungen stattgefunden hat, die das Fluoreszenzbild verändert. Da die Analysenlampe möglicherweise ein Hilfsmittel darstellt, um Qualitätsunterschiede objektiv anzuzeigen, werden wir weiter untersuchen, ob eine Kontrolle der Geschmacksprüfungen oder sonstige Analysen mit Hilfe der Analysenlampe möglich ist.

Literatur.

1. LEMMERZAHL, J., Z. Pflanzenern., Dg. u. BK. B, Bd. 13, Nr. 11, S. 433.

Zusammenfassung.

Über den Einfluß der Düngung auf die Qualität des Weizens hat das Institut für Bäckerei in Berlin umfassende Untersuchungen vorgenommen. Die Ergebnisse zeigen, daß die vielfach aufgestellte Behauptung, daß die durch die Düngung bewirkte Ertragssteigerung durch eine Beeinträchtigung der Qualität erkauft werde, nicht zu Recht besteht. Es war in bezug auf Proteingehalt, Volumenausbeute und Backzahl sogar eine Verbesserung des mit Volldüngung gezogenen Weizens gegenüber Ungedüngt festzustellen.

Bei Kartoffeln, Gemüse und Obst ist eine Beurteilung der Qualität durch analytische Methoden noch nicht möglich, deshalb mußte die Geschmacksprüfung durch Sachverständige herangezogen werden, bei der die Art der Düngung erst nach der Beurteilung bekanntgegeben wurde. Diese Kostproben ergaben fast stets die beste Bewertung bei den Erzeugnissen, die unter sachgemäßer Anwendung der Handelsdünger gezogen waren.

SUMMARY.

The Institute of Bakery Research in Berlin has carried out extensive investigations on the effect of manuring on the milling and baking quality of wheat. The results of these experiments have shown that the wide-spread opinion that the use of commercial fertilisers tends to increase yields at the expense of quality, is not founded on the actual facts. It was found that the wheat grown with complete fertiliser was actually superior in respect to protein content and the baking quality of the flour to that grown without fertilisers.

The quality of potatoes, vegetables and fruit cannot be determined by analytical methods. On this account quality determinations in the case of such produce usually take the form of tasting trials. The results of such trials carried out by impartial experts, who were unaware of the origin of the different samples, have in the vast majority of cases proved the superiority of the produce grown with commercial fertilisers.

3. Der Einfluß der Kalidüngung auf den Nähr- und Futterwert.

Aus der Tatsache, daß die Zusammensetzung des Getreidekorns durch die Düngung nicht verändert und daß ferner die Backfähigkeit nicht oder günstig beeinflußt wird, ergibt sich, daß eine Beeinflussung der Bekömmlichkeit des Brotes durch die Dünger im allgemeinen nicht, wenn aber, dann wahrscheinlich in günstigem Sinne, zu erwarten ist.

Bei der Untersuchung des Einflusses der Düngung auf die chemische Zusammensetzung der Kartoffeln war festzustellen, daß durch starke Kalidüngung der Kaligehalt gesteigert wurde. Während normalerweise

für die Zusammensetzung der Kartoffeln ein Gehalt von 2 % K_2O in der Trockensubstanz, entsprechend etwa 0,4 % in der Frischsubstanz, anzunehmen ist, ergab sich, daß dieser Gehalt durch starke Kaligaben um etwa 0,5 % in der Trockensubstanz bzw. 0,1 % in der Frischsubstanz erhöht werden konnte. Es taucht somit die Frage auf, ob eine solche Erhöhung des Kaligehaltes eines wichtigen Nahrungsmittels dazu führen könnte, daß der menschliche Organismus mit der Nahrung größere Kalimengen aufnimmt, als ihm zuträglich sind.

Tabelle 1. Tägliche Kaliaufnahme.

	Bei mineralstoffreicher Kost	
	Kali in %	Kali in g
Frühstück:		
1/4 l Milch	0,17	0,41
150 g Schwarzbrot .	0,60	0,90
250 g Obst	0,20	0,50
25 g Butter	—	—
Mittagessen:		
125 g Fleisch	0,15	0,18
400 g Kartoffeln . .	0,40	1,60
400 g Gemüse . . .	0,20	0,80
Abendbrot:		
1/2 l Milch	0,17	0,85
300 g Schwarzbrot .	0,60	1,80
250 g Obst od. Salat	0,20	0,50
50 g Käse	0,40	0,20
Aufgen. Kalimenge		7,74

	Bei mineralstoffarmer Kost	
	Kali in %	Kali in g
Frühstück:		
1/4 l Tee	—	—
150 g Weißbrot . .	0,15	0,23
2 Eier	0,20	0,24
50 g Fleisch. . . .	0,15	0,08
25 g Butter	—	—
Mittagessen:		
250 g Fleisch. . . .	0,15	0,38
125 g Nudeln . . .	0,15	0,19
150 g Pudding . . .	—	—
Abendbrot:		
1/2 l Tee	—	—
200 g Weißbrot . .	0,15	0,30
125 g Fleisch. . . .	0,15	0,19
2 Eier	0,20	0,24
50 g Käse	0,40	0,20
Aufgen. Kalimenge		2,05

Mehraufnahme an Kali bei mineralstoffreicher Kost 5,69 g je Tag.

Um diese Frage zu klären, braucht man nur zu berechnen, in welcher Größenordnung die auf diese Weise bewirkte Steigerung der Kalizufuhr zum menschlichen Organismus liegt.

Der durchschnittliche Verbrauch an Kartoffeln beträgt in Deutschland, einem Lande mit besonders starkem Kartoffelverbrauch, rund 1/2 kg je Kopf und Tag. Eine Steigerung des Kaligehaltes der Kartoffeln um 0,1 % bedeutet somit eine Steigerung der Kaliaufnahme

durch den Organismus um täglich 0,5 g. Eine derartige Mehrzufuhr an Kali ist bedeutungslos, wenn man ihr die Schwankungen in der Kaliaufnahme des Organismus gegenüberstellt, die durch Verschiedenheiten in der Kost und in der Zubereitung der Nahrung verursacht werden.

Wenn ein Mensch z. B. täglich $^1/_2$ Pfund Äpfel verzehrt, so bewirkt er damit eine gleiche Mehrzufuhr an Kali zu seinem Körper wie beim Genuß der durch Kalidüngung an Kali angereicherten Kartoffeln.

Interessant ist auch ein Vergleich der Kalizufuhr zum Organismus auf Grund der nachstehenden beiden Kostarten (Tabelle 1).

Es ergibt sich, daß ein Mensch, der vorwiegend Pflanzenkost zu sich nimmt, täglich $5^1/_2$ g K_2O mehr aufnimmt als jemand, der sich überwiegend mit Fleisch- und Mehlkost ernährt, und zwar auch dann, wenn das Pflanzenmaterial nicht mit Kali gedüngt ist. Es leuchtet ein, daß diesen Unterschieden gegenüber die geringe Veränderung in der Kaliaufnahme, die durch die Düngung bewirkt wird, vollständig bedeutungslos ist.

Um aber diese Frage nicht nur theoretisch zu betrachten, sondern auch experimentell zu prüfen, stellten wir Tierversuche an. Diese Tierversuche hatten zugleich auch fütterungstechnisch praktische Bedeutung, da man ja neuerdings dem Mineralstoffwechsel der Tiere mit Rücksicht auf die große Bedeutung der Mineralstoffe für den Organismus der Tiere erhöhte Beachtung schenkt.

Die der Menge nach wichtigsten im Tierkörper enthaltenen mineralischen Bestandteile sind Calcium, Kalium, Natrium, Magnesium, Eisen. sowie Phosphor, Schwefel und Chlor (Tabelle 2).

Tabelle 2. Mineralstoffgehalt ganzer Tiere, bezogen auf 100 kg Lebendgewicht (nach LAWES und GILBERT) (1)

	g K	g Na	g Ca	g Mg	g P	g Cl
Fetter Ochse	146	93,5	1282	37,9	678	55,2
Fettes Kalb	171	109,0	1176	43,9	670	62,5
Ausgewachsenes Schwein	163	81,6	772	33,0	465	57,0

Beim Kalium ist bemerkenswert, daß es im Körper des jungen, wachsenden Tieres in erheblich größeren Mengen enthalten ist als im

Körper des erwachsenen Tieres. Einen Hinweis auf den hohen Kalibedarf des jungen Tieres gibt auch die Zusammensetzung der Milch, als des einzigen Nahrungsmittels für das junge Tier (Tabelle 3). In der Milch herrscht unter den mineralischen Bestandteilen das Kalium vor, in geringem Abstande folgen darauf Calcium und Phosphor, während das Natrium zurücktritt.

Tabelle 3. Mineralstoffe der Milch (in Prozent der Asche) nach v. WENDT.

	% K	% Na	% Ca	% Mg	% P	% Cl
Mensch	38,6	7,6	13,6	2,3	12,4	25,5
Rind.	27,4	5,8	23,4	2,3	21,6	19,5

Für den Stoffwechsel ist besonders das Verhältnis von Basen zu Säuren von Bedeutung, denn für die Ausscheidung der im Körper durch den Lebensprozeß gebildeten Säuren ist die Anwesenheit einer genügenden Menge von Basen erforderlich. Enthält der Organismus nicht genug Basen, so ist er genötigt, die zur Säurebindung erforderlichen Basen durch Abspaltung von Ammoniak und Aminen aus Eiweiß selbst zu erzeugen. In diesem Falle wird der Eiweißgehalt des Futters nicht so stark ausgenutzt wie bei basenreicher Ernährung. Auf die Bedeutung eines Basenüberschusses in der Nahrung hat neuerdings Lintzel hingewiesen und die Forderung aufgestellt, daß das Futter sowohl an Erdalkalien wie an Alkalien einen Überschuß über die Säuren enthalten müsse (2). Eine Beeinflussung der Reaktion des Blutes durch das Basen-Säureverhältnis des Futters ist im allgemeinen nicht nachzuweisen, da das Blut stark gepuffert ist und Verschiebungen in der p_H-Zahl des Blutes infolgedessen nur sehr gering sind. Man kann dagegen Verschiebungen im Basenhaushalt des Körpers dadurch verfolgen, daß man die Veränderung der Güte der Pufferung des Blutes untersucht, indem man die Alkalireserve des Blutes, also die an Kohlensäure gebundenen Alkalien bestimmt. Wir konnten Andeutungen einer Verschiebung der Alkalireserve bei der Ernährung von Rindern mit Futter von verschieden hohem Gehalt an Kali feststellen, allerdings waren bei unseren Untersuchungen die Schwankungen von Tier zu Tier auch innerhalb der einzelnen Gruppen sehr beträchtlich (Tabelle 4).

Tabelle 4.

Alkalireserve (Vol.-% CO_2 im Plasma als Bicarbonat gebunden).

Bei kaliarmer Ernährung	Probenahme am 14. 3. 34	Probenahme am 15. 3. 34	Bei kalireicher Ernährung	Probenahme am 14. 3. 34	Probenahme am 15. 3. 34
Tier 1	63,6	63,6	Tier 7	90,1	69,2
Tier 2	90,1	73,0	Tier 8	94,8	62,6
Tier 3	69,2	69,2	Tier 9	ver-unglückt	81,5

Bei der Wiederholung dieser Untersuchungen am folgenden Tage war der starke Einfluß des Nervensystems auf die Regulierung der Alkalireserve zu beobachten. Als der Tierarzt, der die Blutproben entnahm, sich im Stalle zeigte, erinnerten sich die Tiere an den schmerzhaften Eingriff, zeigten sehr starke Anzeichen von Aufregung und die Alkalireserve ging bei den meisten Tieren auf das Niveau von 60—70 zurück.

Um die Versorgung der Tiere mit Kalk sicherzustellen, kann man dem Futter Futterkalk beimischen; für die Anreicherung des Futters an Alkalien wird von Lintzel das Kaliumazetat in Betracht gezogen.

Die Frage der Verfütterung von Kaliumazetat oder ähnlichen geeigneten Kaliumverbindungen verdient sehr große Beachtung; sie bedarf aber erst der Klärung durch ausgedehnte Versuche, die langfristig, schwierig und kostspielig sind. Wir haben an Rindern einen Versuch mit Zufütterung von Kaliumazetat durchgeführt; dieser führte aber nicht zu einem Resultat, da er infolge Mangels an kaliarmem Futter vorzeitig abgebrochen werden mußte. Es schien uns zunächst näherzuliegen, die Frage einer erhöhten Kalizufuhr im Futter dadurch zu lösen, daß wir versuchten, durch verstärkte Kalidüngung ein an Kali in einer natürlichen Bindungsform reicheres Futter zu erzielen. Während es nicht möglich ist, den Kaligehalt der Samen durch Kalidüngung zu steigern und auch der Kaligehalt der Speicherorgane, wie Knollen und Wurzeln, verhältnismäßig nur wenig durch die Düngung zu beeinflussen ist, ist es leichter möglich, die mineralische Zusammensetzung der grünen Pflanzenmasse, also insbesondere des Wiesen- und Weidefutters, durch die Düngung zu verändern.

Über die Wirkung eines durch Düngung an Kali angereicherten Futters auf den Fleischzuwachs von Rindern sind von der Studien-

gesellschaft für Grünlandwirtschaft in Steinach in den letzten Jahren sehr sorgfältige Fütterungsversuche durchgeführt worden, deren agrikulturchemische Bearbeitung wir vornahmen (3). Bei dem im Frühjahr 1934 durchgeführten Fütterungsversuch erhielt eine Gruppe von Rindern ein Heu, das auf einem kaliarmen Boden ohne Kalidüngung gewachsen war, während eine andere Gruppe das Heu von den Kaliparzellen dieser Versuchsfläche erhielt, die mit einer Düngung von 200 kg K_2O je Hektar versehen waren. Der Kaligehalt dieses Heues war etwa doppelt so hoch wie der des Heues von der kalifreien Parzelle (Tabelle 5).

Tabelle 5.

Einfluß der Düngung auf den Mineralstoffgehalt von Wiesenheu.

Parzelle	Jährliche Düngung	K_2O %	Na_2O %	CaO %	MgO %	P_2O_5 %
	1. Schnitt					
1	20 kg N 70 kg P_2O_5	1,35	0,11	0,91	0,45	0,60
2	20 „ N 70 „ P_2O_5 100 kg K_2O	2,55	0,15	1,11	0,47	0,71
3	20 „ N 70 „ P_2O_5 200 „ K_2O	2,68	0,15	1,13	0,51	0,69
	2. Schnitt					
1		1,33	0,15	1,40	0,58	0,72
2		2,23	0,13	1,47	0,56	0,81
3		2,28	0,12	1,23	0,54	0,79

Die mit dem kalireichen Heu ernährten Rinder zeigten eine bedeutend bessere Gewichtszunahme und waren auch in der äußeren Erscheinung, insbesondere im Haarkleid, überlegen. Nachdem der Fütterungsversuch einige Wochen gelaufen und anzunehmen war, daß sich ein Gleichgewicht in der Ernährungsweise der Tiere eingestellt hatte und daß diese sich der verschiedenen Ernährung in ihrem Stoffwechsel angepaßt hatten, wurde 8 Tage lang ein Stoffwechselversuch durchgeführt.

Das gehäckselte Mischfutter von Heu und Rüben wurde analysiert und gewichtsmäßig den einzelnen Tieren vorgesetzt; das nicht aufgenommene Futter wurde zurückgezogen und gleichfalls analysiert.

Für jede Kuh wurden in 3 Schichten 3 Leute ununterbrochen zur Aufsicht gestellt, die Kot und Harn sorgfältig getrennt auffingen. Kot und Harn wurden gewichtsmäßig bestimmt und analysiert. Auf diese Weise war es möglich, eine Mineralstoffbilanz für jedes Tier der beiden verschieden ernährten Gruppen aufzustellen (Tabelle 6).

Tabelle 6. Mineralstoffbilanz eines Fütterungsversuches zu Rindern (8-Tage-Periode).

		Bei kaliarmem Futter						Bei kalireichem Futter				
		K_2O g	Na_2O g	CaO g	MgO g	P_2O_5 g		K_2O g	Na_2O g	CaO g	MgO g	P_2O_5 g
Aufnahme im Futter	Tier 1	980	150	470	180	310	Tier 7	1910	120	640	230	390
	,, 2	950	140	450	170	300	,, 8	1870	120	620	230	380
	,, 3	950	150	450	170	300	,, 9	1920	120	660	240	400
Ausscheidung im Kot	Tier 1	100	20	480	170	320	Tier 7	150	30	550	160	380
	,, 2	80	10	410	140	300	,, 8	210	30	550	160	400
	,, 3	110	10	420	120	280	,, 9	190	40	580	160	400
Ausscheidung im Harn	Tier 1	720	80	10	20	—	Tier 7	1430	120	—	30	—
	,, 2	720	70	—	30	—	,, 8	1430	100	—	30	
	,, 3	630	80	—	30	—	,, 9	1530	90	—	40	—
Gesamtausscheidung	Tier 1	820	100	490	190	320	Tier 7	1580	150	550	190	380
	,, 2	800	80	420	170	300	,, 8	1640	130	550	190	400
	,, 3	740	90	420	140	280	,, 9	1720	130	580	200	400
Differenz	Tier 1	160	50	—20	·10	—10	Tier 7	330	—30	90	40	10
	,, 2	150	60	30	0	0	,, 8	230	—10	70	40	- 20
	,, 3	210	60	30	30	20	,, 9	200	—10	80	40	0

Zwischen den einzelnen Kontrolltieren, bei deren Auswahl man sich bemüht hatte, möglichst gleichaltrige und gleichmäßige Tiere zu erhalten, sind natürlich trotzdem Schwankungen sowohl in der Aufnahme des Futters wie in seiner Verwertung aufgetreten. Diese waren aber von einer viel kleineren Größenordnung als die Unterschiede, die durch die verschiedene Ernährungsweise der beiden Gruppen verursacht waren. Die verschiedene Ernährungsweise führte dazu, daß die Gruppe, die das mit Kali gedüngte Futter erhalten hatte, in den 8 Tagen je Tier durchschnittlich etwa 950 g K_2O mehr zugeführt bekam als die Gruppe mit dem kaliarmen Futter. In der Versuchsanordnung lag es begründet, daß auch die Zufuhr an den anderen Mineralstoffen verändert wurde, da durch die Kalidüngung auch der Gehalt des Futters an den anderen Mineralstoffen verändert, und zwar meist etwas erhöht worden war. Die Mehraufnahme an Kalk betrug je Tier etwa 175 g, an Magnesia 60 g, an Phosphorsäure 90 g, an Natrium war dagegen eine Minderaufnahme von 30 g zu verzeichnen.

Bei der Untersuchung der Ausscheidungen ergab sich bei der Gruppe mit dem kaliarmen Futter, daß der größte Teil des aufgenommenen

Kalis, nachdem es seine Rolle im Stoffwechsel erfüllt hatte, durch den Harn wieder ausgeschieden wurde. Nur ein kleiner Teil des Kalis wurde im Kot ausgeschieden, war also unverdaut durch den Körper gegangen. Als Differenz zwischen Aufnahme und Ausscheidung ergab sich der Betrag von etwa 175 g Kali.

Bei der mit dem kalireichen Futter ernährten Gruppe lagen die Verhältnisse ähnlich. Von der Mehraufnahme an Kali wurde der weitaus größte Teil im Harn ausgeschieden. Die Ausscheidung im Kot war gegenüber der kaliarmen Gruppe etwas, aber nur unwesentlich erhöht, dagegen wurde eine etwas größere Kalimenge im Organismus aufgespeichert. Da die Menge des im Organismus verbliebenen Kaliums als Differenz bestimmt wurde, sind allerdings hier die Schwankungen besonders groß.

Die erhöhte Kaliumzufuhr bei der Gruppe mit dem kalireichen Futter führte im Verein mit der geringeren Nahrungszufuhr dazu, daß die Anreicherung des Organismus an Natrium, die bei der mit kaliarmem Futter ernährten Gruppe stattfand, bei der anderen Gruppe nicht festzustellen war, sondern eher eine geringe Mehrausscheidung an Natrium.

Was dagegen die Wirkung des kalireichen Futters auf den Kalkstoffwechsel des Organismus betrifft, so ist es interessant, festzustellen, daß im Gegensatz zu einer weitverbreiteten Meinung die Erhöhung der Kalizufuhr in der Nahrung nicht eine Erhöhung der Kalkausscheidung hervorgerufen hat. Während bei dem kaliarmen Futter Kalkaufnahmen und Kalkausscheidungen etwa gleich waren, ergab sich bei dem kalireicheren Futter, das allerdings infolge der durch die Kalidüngung bewirkten Anreicherung an Leguminosen auch einen höheren Kalkgehalt hatte, eine gewisse Anreicherung des Organismus an Calcium.

An Magnesium nahmen die Tiere der Kaligruppe nach dem Analysenbefund 25 g MgO mehr auf als die der kaliarmen Gruppe. Dieser Mehraufnahme ist vielleicht im Hinblick auf die Größe der Versuchsfehler kein großer Wert beizumessen; zum mindesten hat der Versuch aber keinen Anhalt dafür ergeben, daß der Mg-Haushalt des Organismus durch die erhöhte Kalizufuhr beeinträchtigt worden sei, was im Hinblick auf die Bedeutung, die manche französischen Forscher der Magnesia in der Krebsfrage zuschreiben, von Interesse ist.

Hinsichtlich des Phosphorstoffwechsels ergaben sich praktisch keine Unterschiede bei den verschiedenen Fütterungsarten.

Der Hauptunterschied zwischen beiden Gruppen ist die Verschiedenheit der Differenz zwischen Kaliaufnahme und Kaliausscheidung, die bei diesem Versuche festgestellt wurde. Durch die höhere Gewichtszunahme der mit kalireichem Futter ernährten Tiere ist diese Mehraufnahme nur zum Teil zu erklären. Wir versuchten, durch eine Blutuntersuchung festzustellen, ob im Organismus eine Anreicherung an Kali eingetreten sei; die Zusammensetzung des Blutes wies aber keine Unterschiede auf (Tabelle 7).

Tabelle 7. Mineralstoffgehalt des Blutes der Rinder.

	mg K_2O	mg Na_2O	mg CaO	mg MgO	mg P_2O_5
	a) Bei kaliarmer Ernährung (mg in 100 g Blut)				
Tier 1	59,0	315,1	11,2	4,3	32,2
„ 2	46,4	299,5	11,8	4,3	26,5
„ 3	61,1	283,7	9,7	4,2	33,1
	b) Bei kalireicher Ernährung (mg in 100 g Blut)				
Tier 7	44,5	320,6	11,1	5,3	35,8
„ 8	46,7	311,9	10,9	3,4	37,0
„ 9	39,3	336,4	11,7	3,3	35,2

Da diese wertvollen Tiere nicht geschlachtet werden konnten, mußte leider auf eine Untersuchung des Fleisches und der Organe, welche zu einer endgültigen Klärung unerläßlich gewesen wäre, vorläufig verzichtet werden.

Daß eine Erhöhung des Kaligehalts der Muskeln wie auch anderer Organe als Folge einer kalireichen Ernährung anzunehmen ist, zeigen die Ergebnisse früherer Fütterungsversuche an Schweinen, die wir gemeinschaftlich mit Prof. DUERST-Bern durchgeführt hatten.

Bei diesen Versuchen, deren Ergebnisse in Bd. I, S. 221—29 wiedergegeben sind, ergab sich als Folge der kalireichen Ernährung eine deutliche Erhöhung des Kaligehaltes der Muskeln, während die geringen Schwankungen im Kaligehalt der übrigen Organe möglicherweise innerhalb der Fehlergrenze liegen.

Literatur.

1. LAWES u. GILBERT, Phil. Transact., London 2 (1859).
2. LINTZEL, Mitt. d. DLG, 48, H 27 (1933).
3. KÖNIG, Landw. Jahrb. 81, 6 (1935).

Zusammenfassung.

Da die Zusammensetzung des Getreidekorns durch die Düngung nicht verändert und die Backfähigkeit nicht oder günstig beeinflußt wird, ergibt sich, daß eine Beeinträchtigung der Bekömmlichkeit des Brotes durch die Handelsdünger ausgeschlossen ist.

Die geringe Erhöhung des Kaligehaltes der Kartoffeln, die bei starker Kalidüngung gelegentlich beobachtet wird, spielt für die Kaliaufnahme des Menschen überhaupt keine Rolle im Vergleich zu den Schwankungen, die durch Verschiedenheiten in der Kost und in der Zubereitung der Nahrung verursacht werden.

Um aber diese Frage nicht nur theoretisch zu betrachten, stellten wir Tierversuche an, bei denen der Mineralstoffgehalt des Futters durch die Kalidüngung verändert worden war.

Calcium und Phosphor machen die Hauptmenge der im Tierkörper enthaltenen Mineralstoffe aus; daneben sind, vor allem im Körper des jungen Tieres, erhebliche Mengen von Kalium enthalten. Die besondere Bedeutung des Kaliums für das junge wachsende Tier geht auch daraus hervor, daß unter den Mineralstoffen der Milch das Kalium an erster Stelle steht.

Eine Anreicherung des Futters an den Mineralstoffen Calcium und Phosphor ist möglich durch Zusatz von kohlensaurem Kalk und phosphorsaurem Kalk. Eine Anreicherung des Futters an Kali wird zweckmäßig durch eine ausreichende Kalidüngung der Wiesen und Weiden angestrebt, durch welche der Kaligehalt des Futters in seiner natürlichen Bindungsform erhöht wird.

Fütterungsversuche mit einem auf diese Weise an Kali angereicherten Heu ergaben eine vorteilhafte Wirkung des kalireichen Futters. Eine Bilanz der Mineralstoffaufnahme ergab, daß die Mehraufnahme an Kali, die bei kalireichem Futter stattfand, zum größten Teil durch den Harn wieder ausgeschieden wurde, ein Teil blieb aber im Organismus zurück. Nach früheren Versuchen an Schweinen ist anzunehmen, daß die Kalianreicherung des Organismus hauptsächlich in den Muskeln stattfindet, worauf DUERST den günstigen Einfluß des kalireichen Futters auf die Fleischqualität zurückführt. Eine Erhöhung der Kalkausscheidung als Folge der Verabreichung des kalireichen Futters war nicht festzustellen, ebenso wurde der Magnesium- und Phosphorstoffwechsel des Organismus dadurch nicht beeinflußt.

SUMMARY.

As the manuring has little or no effect on the composition of the grain and the baking quality of flour, palatability or digestibility of bread are not affected by the use of commercial fertilisers.

The effect on the intake by human beings of the slight increase in the potash content of potatoes, observed occasionally in cases in which heavy dressings of potash fertiliser have been applied to the crop, is negligible when compared with the variations caused by changes in diet and differences in the preparation of the food.

In order to test the truth of this assumption experimentally, nutritional experiments were carried out on animals, in which fodder containing different amounts of potassium was used.

Calcium and phosphorus are the chief mineral constituents of the animal body. At the same time considerable quantities of potassium are found in the bodies of young animals. The special importance of potassium for the young growing animal is evident from the fact that potassium occupies the first place among the mineral constituents of milk. Fodder may be enriched in calcium and phosphorus by additions of calcium carbonate and calcium phosphate. On the other hand an increase in the potassium content of fodder is best effected by a liberal manuring of the meadows and pastures with potash, by which the amount of potash in the fodder in its natural state of combination is increased. In nutritional experiments a beneficial effect of hay, which had been enriched in potash in the manner described above, has been observed. A determination of the assimilation of minerals showed that the additional quantities of potash absorbed by animals feeding on fodder rich in potassium were for the most part excreted in the urine, although a certain amount was retained in the system. From the results of previous experiments on pigs it may be assumed that increases in the potassium content of the animal system are chiefly due to an accumulation of potassium in the muscles. To this fact DUERST ascribes the beneficial effect of fodder rich in potassium on the quality of meat. No increase in the excretion of calcium was observed as a result of feeding with fodder rich in potassium, nor were the metabolic processes, in which magnesium and phosphorus compounds take part, in any way affected.

4. Tierversuche über die Wirkung fortgesetzten Genusses von Nahrungsmitteln, die mit und ohne Anwendung von Handelsdünger gezogen sind.

Der günstige Einfluß, den das bei ausreichender Kalidüngung gezogene Futter auf die Entwicklung von Nutztieren hatte, berechtigt zu dem Schlusse, daß irgendwelche übersteigerte Speicherung von Kali in der menschlichen Ernährung durch Kalidüngung nicht zu befürchten ist, zumal die chemische Untersuchung ergeben hat, daß eine derartige Anreicherung bei den meisten menschlichen Nahrungsmitteln in geringerem Umfange eintritt als bei Wiesen- und Weidefutter. Wenn nun aber auch die Veränderung der mineralischen Zusammensetzung der Nahrung, die durch verschiedene Düngung zu bewirken ist, als unbedenklich zu betrachten ist, so bliebe noch nachzuprüfen, ob etwa durch die Handelsdünger stoffliche Veränderungen der Pflanze in so kleinem Umfange bewirkt werden könnten, daß sie sich dem chemischen Nachweise entziehen, aber trotzdem biologische Wirkungen zu entfalten vermöchten. Eine Beantwortung der Frage, ob durch die Anwendung der Handelsdünger bei der Erzeugung der Nahrungsmittel irgendeine Beeinflussung des Gesundheitszustandes der Verbraucher erfolgt, könnte nur durch einen Ernährungsversuch selbst erbracht werden. Dazu müßte eine größere Gruppe von Menschen teils mit gedüngten, teils mit ungedüngten Nahrungsmitteln über sehr lange Zeitperioden ernährt und in ihrem Gesundheitszustand beobachtet werden. Da ein solcher Versuch zwar theoretisch denkbar ist, in seiner Durchführung jedoch auf unüberwindbare Schwierigkeiten stößt, ist eine Inangriffnahme des Problems vorläufig nur auf dem Wege des für wissenschaftliche Ernährungsfragen allgemein üblichen Tierversuches möglich.

Die in Zusammenarbeit mit der Landwirtschaftlichen Versuchsstation Lichterfelde in den Jahren 1929/30 am Hygienischen Institut der Universität Freiburg i. Br. von Remy und Müller und am Zootechnischen und Veterinärhygienischen Institut der Universität Bern von U. Duerst ausgeführten Arbeiten (Bd. I, S. 217—235) hatten erwiesen, daß bei Fütterung von Tieren mit Kalisalzen, selbst mit einem Vielfachen der in der landwirtschaftlichen Praxis vorkommenden Menge Kali, keine

toxischen Wirkungen ausgelöst werden. Diese Versuche haben auch gezeigt, daß unter der Voraussetzung, daß den Tieren die erforderliche Menge von anderen anorganischen Aufbaustoffen, insbesondere von Kalk, zur Verfügung steht, auch physiologische Schädigungen nicht zu konstatieren waren. Vor allem haben die Versuche gezeigt, daß entgegen früheren Behauptungen ein Zusammenhang zwischen Kalifütterung und Thrombose nicht existiert, daß aber forcierte Kaligaben eine gleichzeitige Erhöhung der Calciumzufuhr zum Zweck der Aufrechterhaltung des Ionengleichgewichtes im Organismus erfordern.

Um festzustellen, ob durch die Anwendung der Handelsdünger vielleicht im Laufe von Generationen Beeinflussungen der Volksgesundheit in positivem oder negativem Sinn zu erwarten seien, entschlossen wir uns, in Gemeinschaft mit der Wissenschaftlichen Abteilung des Stickstoff-Syndikats an einem umfangreichen Fütterungsversuch von Prof. SCHEUNERT im Veterinär-Physiologischen Institut der Universität Leipzig mitzuarbeiten, der möglichst exakte Grundlagen für die Beantwortung dieser Frage liefern sollte (1). Der lang dauernde Fütterungsversuch an kleinen, schnell wachsenden und rasch lebenden Versuchstieren, wie ihn die neuzeitliche Ernährungsforschung entwickelt hat, bietet eine experimentell gesicherte Grundlage für die Klärung von Ernährungsfragen. Das in Hunderttausenden von Versuchen erprobte Versuchstier ist die zahme Ratte, deren Wildform als omnivorer Nager seit vorgeschichtlichen Zeiten im Lebensraum der Menschen lebt und als Nutznießer und Schmarotzer der menschlichen Lebenshaltung sich auch an seine Nahrung angepaßt hat. Die Ratte kann also mit derselben Kost wie der Mensch ernährt werden, und dank großer experimenteller Erfahrung vermögen wir auch die Ansprüche, die dieses Tier an die Nahrung stellt, so gut wie bei keinem anderen zu überblicken. Als besonderer Vorteil ist ferner zu werten, daß der Lebenszyklus der Ratte auf einen Zeitraum von 2—3 Jahren zusammengedrängt ist, daß die Tiere schon sehr frühzeitig fortpflanzungsfähig werden und dann in kurzen Zwischenräumen große Würfe von Jungen zu erzeugen vermögen, so daß, ohne die Muttertiere zu überanstrengen, 3—4 Würfe in einem Jahr erzielt werden können. Man ist also in der Lage, einen Fütterungsversuch über die ganze Lebensdauer einer Gruppe dieser Tiere durchzuführen und ihn über zahlreiche Generationen auszudehnen.

Die Versuchstiere entstammten der Zucht des Veterinär-Physiologischen Instituts der Universität Leipzig. Sie wurden aus Würfen entnommen, die zwischen Ende Dezember 1931 und Anfang Januar 1932 erhalten und von ihren Müttern bis Ende Januar gesäugt worden waren.

Für jede der beiden zu bildenden Fütterungsgruppen wurden am 3. Februar 1932 je 9 weibliche und 6 männliche Jungtiere, die einander im Gewicht entsprachen, ausgewählt. Das Durchschnittsgewicht der Weibchen betrug in beiden Gruppen 48,2 g, das der Männchen 49,4 und 49,7 g. Die Tiere wurden durchweg in Einzelkäfigen auf Sägespänen gehalten. Am 10. März wurden zu jeder Gruppe noch je 3 weibliche Tiere gleichen Alters und passenden Gewichtes zugefügt. Diese beiden Gruppen von je 12 Weibchen und 6 Männchen bildeten die erste Generation des Versuches, der von ihnen seinen Ausgang nahm und sich über fast $2^1/_2$ Jahre erstreckte. Die eine von jetzt ab mit V bezeichnete Gruppe sollte nur mit solchen Nahrungsmitteln gefüttert werden, die reichlich mit Handelsdünger, also NPK, gezogen worden waren. Die andere, von jetzt ab mit U bezeichnete Gruppe hingegen sollte ausschließlich Nahrungsmittel erhalten, die von ungedüngten oder nur mit natürlichem Dünger versehenen Böden stammten.

Die Versuchsnahrung mußte der menschlichen Kost entsprechen. Deshalb wurden gemischte Kostsätze, die aus Getreide, Gemüse, Fleisch und Milch zusammengesetzt wurden, verwendet.

Von Getreide kamen Weizen, Roggen, Hafer und Gerste zur Verwendung. Die mit Handelsdünger gezogenen Mengen wurden von Versuchsgütern (Dikopshof) oder von Betrieben bezogen, die nachweislich schon mehrere Jahre starke Gaben von Kalisalzen, Leunasalpeter, Thomasmehl, Kalkstickstoff und dergleichen verwendeten.

Die ohne Handelsdünger gezogenen Getreidemengen wurden entweder von Gütern mit vergleichbaren klimatischen und Bodenverhältnissen besorgt, die solchen Handelsdünger nicht verwenden, oder stammten aus ungedüngten Versuchsparzellen. Insgesamt wurden im Laufe des Versuches für jede Gruppe je 825 kg Getreide verfüttert.

Die Gemüse, die je nach der Jahreszeit wechselten, wurden durch das freundliche Entgegenkommen von Herrn Geheimrat REMY, Bonn,

von dessen Versuchswirtschaft Marhof geliefert und entstammten den dortigen Versuchsparzellen und Düngungsversuchen. Es konnte somit jeweils das gleiche Material mit und ohne Handelsdünger erhalten werden.

Die für die Fütterungsversuche gelieferten Kartoffeln und Gemüse sind wie folgt gedüngt worden (Tabelle 1):

Tabelle 1. Düngung von Kartoffeln und Gemüse.

I. Freilandkulturen.

Grunddüngung je Anbaujahr (für Haupt- und Nachfrucht zusammen):
Stallmist: 300 dz je Hektar.
Kali: 200 kg K_2O je Hektar als 40er Kalidüngesalz.
Phosphorsäure: 80 kg P_2O_5 je Hektar als Superphosphat.
Stickstoff als Leunasalpeter je Hektar:

	100 kg N	80 kg N	50 kg N
Zur Hauptkultur	Frühkartoffeln Tomaten	Spätkartoffeln Tomaten Sellerie	Salat Erbsen Möhren Strauchbohnen
Als Zulage zur Nachfrucht nach Frühkartoffeln		Weißkohl Wirsing Grünkohl	Spinat

II. Treibgemüse.

Treibsalat je Hektar:	250 kg K_2O als 40er Kalidüngesalz 80 kg P_2O_5 als Superphosphat 50 kg N als Natronsalpeter
Treibmöhren und Treibspinat je Hektar	200 kg K_2O als 40er Kalidüngesalz 80 kg P_2O_5 als Superphosphat 100 kg N als Natronsalpeter

Insgesamt wurden für jede Gruppe verabreicht:

Salat	etwa	145 kg
Spinat	„	240 kg
Weißkohl	„	200 kg
Wirsing	„	90 kg
Bohnen	„	125 kg
Erbsen	„	17 kg
Möhren	„	64 kg
Sellerie	„	250 Stück
Tomaten	„	125 kg
Kartoffeln	„	1675 kg

Die nicht lagerbaren Gemüse wurden sogleich haushaltsüblich gekocht, in Gläser eingefüllt, diese evakuiert und dann bei - 8° bis zur Verwendung eingefroren und aufbewahrt.

Auch das Fleisch mußte dem Versuchsplan entsprechend von Tieren stammen, die für die V-Gruppe unter Verwendung von Futtermitteln, die mit Handelsdünger gedüngt worden waren, großgezogen und ernährt worden waren. Entsprechend mußten die Tiere für die U-Gruppe ohne solche gehalten worden sein. Durch die freundliche Vermittlung der Versuchsanstalt Limburgerhof bei Ludwigshafen wurden für jede Gruppe 2 Rinder im Gesamtgewicht von etwa 620 kg geliefert.

Die Milch endlich mußte in ganz gleicher Weise von entsprechenden Tieren stammen. Aus einer entsprechenden Menge Milch wurden von der Zentralmolkerei Schwerin 150 bzw. 175 kg Milchpulver geliefert.

Mit Ausnahme von Salat und Tomaten, die gelegentlich frisch verfüttert wurden, wurde alle Nahrung in gekochter Form verabreicht, wobei entsprechend den Kochregeln etwas Kochsalz verwendet wurde. Andere Zugaben oder Nahrungsmittel erhielten die Tiere nicht. Die Nahrungsgemische änderten sich je nach den vorhandenen Nahrungsmitteln; sie mußten auch deshalb geändert werden, weil eine abwechslungsreiche Fütterung angestrebt wurde. Im übrigen waren sie selbstverständlich für beide Gruppen mengenmäßig und auch qualitativ gleich zusammengesetzt. Die Analysenergebnisse der Nahrungsmittel, die fast sämtlich analysiert wurden, zeigten auch, daß keine außerhalb des Üblichen liegenden Schwankungen in der Zusammensetzung bestanden, so daß die beiden Gruppen auch praktisch gleiche Nährstoffmengen enthaltende Kostsätze erhielten. Auch die Kalorienmengen waren, wie Stichproben ergaben, praktisch gleich. Nicht in der Hand der Versuchsansteller lag es, die von den Ratten tatsächlich aufgenommenen Futtermengen zu bestimmen. Die Ratten müssen reichlich gefüttert werden und pflegen erhebliche Futtermengen zu verstreuen. Die Futteraufnahme unterlag also der individuellen Eigenart. Einige sich über mehrere Wochen erstreckende Kontrollversuche, bei denen das tatsächlich gefressene Futter täglich bei jeder Ratte ermittelt wurde, zeigten übrigens in beiden Gruppen eine recht große Übereinstimmung in der Nahrungsaufnahme.

Was zunächst die erste Generation betrifft, so zeigt das Wachstum der Tiere bis zur ersten Paarung bei beiden Gruppen ein gleichmäßiges Ansteigen (Abb. 106—109), wie es bei gut gefütterten Zuchtratten üblich

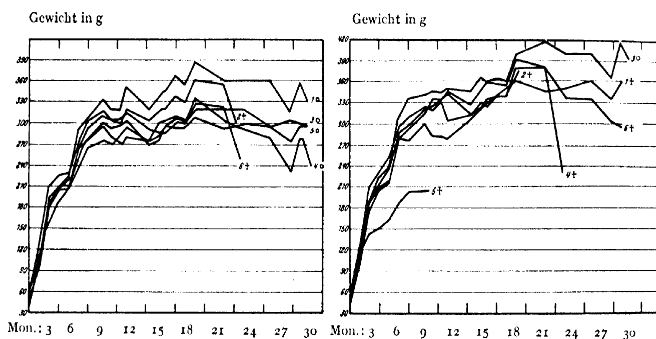


Abb. 106. V ♂ der ersten Generation.

Abb. 107. U ♂ der ersten Generation.

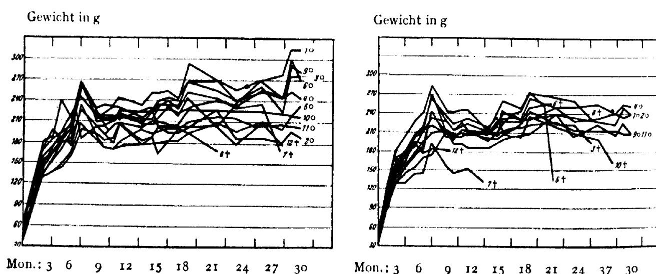


Abb. 108. V ♀ der ersten Generation.

Abb. 109. U ♀ der ersten Generation.

Abb. 106—109. Gewichtsverlauf während der ganzen Versuchsdauer.
Curves showing weight during the whole experimental period.

ist. Die U-Männchen erreichten in dieser 85 Tage betragenden Zeit ein etwas höheres Durchschnittsgewicht, im übrigen waren die Tiere nahezu gleich. Die erste Paarung erfolgte am 3. Mai 1932, und zwar derart, daß je 1 Männchen mit 2 Weibchen über 14 Tage zusammengesetzt wurde. Dann wurden sie wieder getrennt und der Erfolg der Paarung

abgewartet und ermittelt. Auf die gleiche Weise wurden alle Paarungen durchgeführt. Die erste Generation wurde im Verlauf des Versuches noch mehrmals gepaart. Die gesamten Paarungsergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt (Tabelle 2):

Tabelle 2. I. Generation, geb. Neujahr 1932.

Paarungstag	V-Gruppe			U-Gruppe			Geworfene Stückzahl		Durchschnittliche Wurfgröße	
	gepaarte ♀	trächtige ♀	trächtige in %	gepaarte ♀	trächtige ♀	trächtige in %	V	U	V	U
3. 5. 32	12	6	50	12	5	41,7	54	40	9,0	8
13. 7. 32	12	12	100	11	11	100	124	108	10,3	9,8
28. 11. 32	12	6	41,7	11	6	54,5	37	46	7,4	7,7
30. 6. 33	11	5	54,5	10	5	50	34	31	5,7	6,2
18. 10. 33	11	5	45,5	8	1	12,5	23	4	—	—

Entscheidende Unterschiede sind in den ersten 4 Paarungsversuchen danach nicht aufgetreten. Wohl aber ist dies beim letzten Paarungsversuch dieser Generation der Fall. Bei diesem besaßen die Tiere schon ein höheres Alter von $1^3/_4$ Jahren, befanden sich also, wenigstens gilt dies für die Weibchen, nahe der Grenze der Fortpflanzungsfähigkeit. Auch waren zu dieser Zeit schon Verluste durch spontane Todesfälle eingetreten; von den 12 Weibchen waren bei der V-Gruppe noch 11, von denen der U-Gruppe nur noch 8 vorhanden.

Von den Weibchen der V-Gruppe wurden aber immer noch 5 tragend, von den 8 Weibchen der U-Gruppe aber nur 1. Die Handelsdüngergruppe war also hier in der Erhaltung der Fruchtbarkeit deutlich überlegen. Das Verhalten der 1. Generation während des gesamten Versuches gestattet nun, weitere Schlüsse auf die Beeinflussung der Lebensdauer zu ziehen.

Die Einzelheiten gehen aus den beigegebenen Kurventafeln, die den gesamten Lebensverlauf der beiden Gruppen, in ♂ und ♀ unterteilt, wiedergeben, hervor. Die Kurven der ♂ zeigen zunächst, daß bei der V-Gruppe am Schluß des Versuches noch 4 Tiere überlebten, während bei der U-Gruppe nur ein einziges Tier zu dieser Zeit noch am Leben war. Das Verhalten der Körpergewichte war in beiden

Gruppen durchschnittlich gleich, nur bei der U-Gruppe überragte das überlebende, sehr kräftige ♂ Nr. 3 den allgemeinen Durchschnitt und auch den der V-♂. Bei dieser Gruppe wurde das ♂ Nr. 5 wegen Kümmerns und Fortpflanzungsunfähigkeit vorzeitig zwecks histologischer Untersuchung getötet. Man sieht am Kurvenverlauf, wie stark es im Gewicht gegenüber anderen Tieren zurückgeblieben war. Die Kurven der Weibchen zeigen bezüglich des Gewichtes in beiden Gruppen ein ähnliches Bild, wenngleich die U-Gruppe nach anfänglich gleich steilem Gewichtsanstieg wie die V-Gruppe durchschnittlich um ein geringeres leichtere Tiere gehabt hat. Sehr deutlich sieht man aber hier die während des Versuches aufgetretenen Ausfälle. Von der U-Gruppe erlebten nur 5 Tiere den Schluß des Versuches, von der V-Gruppe hingegen 9 Tiere.

Man sieht, daß im Laufe des Versuches Ausfälle eingetreten sind, die bei der U-Gruppe zweifellos umfangreicher waren und früher einsetzten und früher beträchtliche Ausmaße annahmen als bei der V-Gruppe.

Selbst wenn man bei diesen Todesfällen dem Zufall eine Rolle zubilligt, so ist der Unterschied zwischen den beiden Gruppen doch sehr auffallend und deutlich. Man wird also schließen müssen, daß die Handelsdüngergruppe langlebiger gewesen ist.

Dies wird nun noch weiter durch die Beurteilung der Sektionsbefunde der gestorbenen und am Schluß des Versuches getöteten Tiere gestützt. Die Todesursachen waren bei beiden Gruppen ziemlich dieselben und waren im wesentlichen Pneumonien (Lungenentzündungen), die als eine Pseudotuberkulose aufzufassen sind. Häufig hiermit gemeinsam finden sich infektiöse Magendarmentzündungen. Es sind das die üblichen Krankheiten, an denen ältere oder sonstwie geschwächte Ratten in den Zuchtkolonien zugrunde zu gehen pflegen. Andere Erkrankungen treten nur vereinzelt auf.

V-Gruppe

Gestorbene Tiere:

Von 2 ♂ 1 mal hämorrhagische Enteritis,
1 mal kein klarer Befund, lipomartiges Gebilde.

Von 3 ♀ 3 mal Pneumonie und Gastroenteritis.

Überlebende, am Schluß des Versuches getötete Tiere:

Von 4 ♂ 1 mal chronisch entzündliche Herde in der Lunge (Pneumonie),
1 mal vereiterte Verletzung in der Mundhöhle,
2 Tiere waren gesund.

Von 9 ♀ 3 mal vereinzelte entzündliche Herde in der Lunge (Pneumonie),
1 mal großes Fibroadenom der Milchdrüse,
1 mal Ovarialzysten (als Alterserscheinung zu bewerten),
4 Tiere waren gesund und zeigten nur Altersveränderungen.

U-Gruppe.

Gestorbene Tiere:

Von 5 ♂ 1 mal Pneumonie,
3 mal hämorrhagische Magendarmentzündung, 1 Tier kümmerte, war zeugungsunfähig und wurde deshalb vorzeitig getötet.

Von 7 ♀ 4 mal Pneumonie,
2 mal hämorrhagische Magendarmentzündung, 1 Tier wurde infolge ausgedehnter Dermatitis in moribundem Zustand getötet.

Überlebende, am Schluß des Versuches getötete Tiere:

Von 1 ♂ war gesund und zeigte nur Alterserscheinungen.

Von 5 ♀ 3 mal chronisch entzündliche Herde in der Lunge (Pneumonie),
1 mal großes Fibroadenom der Milchdrüse,
1 mal bösartige Geschwulst (Sarkom).

Zweifellos war danach die V-Gruppe wieder überlegen. Diese Tiere hatten während des Versuches eine größere Widerstandsfähigkeit gegen Krankheiten gezeigt und die am Schluß des Versuches noch am Leben befindlichen greisenhaften Tiere befanden sich in einem besseren Gesundheitszustand als die überlebenden der U-Gruppe.

Von Geschwülsten wurde in beiden Gruppen bei je einem Weibchen ein Fibroadenom der Milchdrüse gefunden. In den vorliegenden Fällen handelte es sich um Geschwülste von enormen Ausmaßen, die aber das Befinden

der Tiere offenbar nicht beeinträchtigt hatten. Beide gehörten zu den überlebenden Tieren und hatten keine Metastasen in anderen Organen. Weiter wurde ein erbsengroßes lipomartiges Gebilde an einer Nebenniere bei einem V-Männchen gefunden. Die einzige echte bösartige Geschwulst fand sich an einer Niere eines U-Weibchens. Es handelte sich um ein Sarkom.

Diese Tiere der 1. Generation waren am Schluß des Versuches $2^1/_2$ Jahre alt, was einem menschlichen Alter von etwa 70 Jahren entsprechen dürfte. Sie machten einen greisenhaften Eindruck.

Bei der Untersuchung der einzelnen Generationen sollten, von den verhältnismäßig wenigen Tieren der 1. Generation ausgehend, immer zahlreichere Tiere der neuen Generation zur Paarung gebracht werden. Es wurde angenommen, daß Schädigungen, die die Fütterung verursachen könnte, auf diese Weise über Generationen fortgeführt, immer deutlicher zum Ausdruck kommen müßten. Den Aufbau des Versuches zeigt die folgende Tabelle 3:

Tabelle 3. Generationsfolge.

Zur Paarung gelangten von der	am	V ♂	V ♀	U ♂	U ♀
I. Generation	3. 5. 32	6	12	6	12
II. ”	26. 9. 32	9	15	9	17
III. ”	11. 2. 33	10	20	10	20
IV. ”	8. 7. 33	10	20	10	20
V. ”	30. 11. 33	20	39	20	40
VI. ”	9. 4. 34	25	50	25	50

Hierbei ergeben sich die folgenden Befunde (Tabelle 4):

Tabelle 4. Fortpflanzungsversuche.

Generation	Paarungstag	V-Gruppe gepaarte ♀	V-Gruppe trächtige ♀	V-Gruppe trächtige in %	U-Gruppe gepaarte ♀	U-Gruppe trächtige ♀	U-Gruppe trächtige in %	Geworfene Stückzahl V	Geworfene Stückzahl U	Durchschnittliche Wurfgröße V	Durchschnittliche Wurfgröße U
I	3. 5. 32	20	6	50	12	5	41,7	54	40	9,0	8,0
II	26. 9. 32	15	15	100	17	16	94,1	163	154	10,8	9,6
III	11. 2. 33	20	20	100	20	19	95	173	168	8,7	8,8
IV	8. 7. 33	20	20	100	20	20	100	206	184	10,3	9,2
V	30. 11. 33	39	30	77	40	26	65	265	229	8,8	8,8
VI	9. 4. 34	50	50	100	50	49	98	498	464	10	9,5

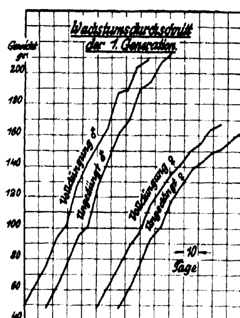


Abb. 110.

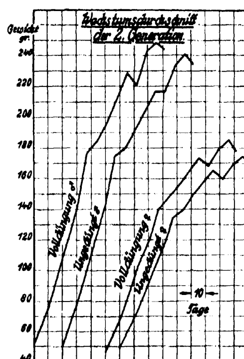


Abb. 111.

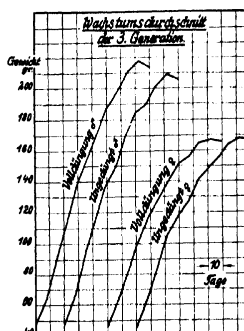


Abb. 112.

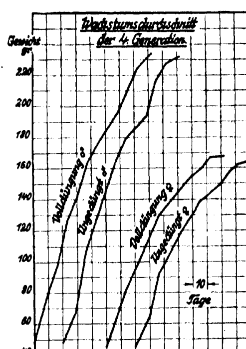


Abb. 113.

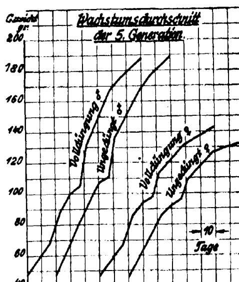


Abb. 114.

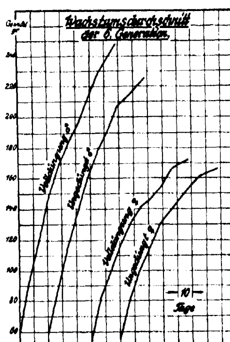
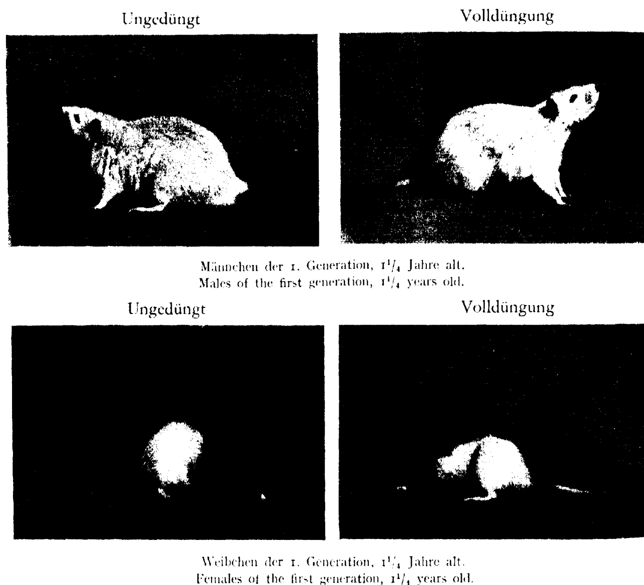


Abb. 115.

Abb. 110—115.
Wachstumskurven.
Growth curves.

Die Tabelle zeigt, daß im allgemeinen mehr Weibchen der V-Gruppe trächtig geworden sind als in der U-Gruppe. Der Unterschied ist keineswegs erheblich, aber es ist doch auffällig, daß er bei den verschiedenen Generationen immer wieder auftritt, so daß man an einen Zufall nicht gut glauben kann. Dementsprechend ist die absolute Zahl der jeweils



Männchen der 1. Generation, $1^1/_4$ Jahre alt.
Males of the first generation, $1^1/_4$ years old.

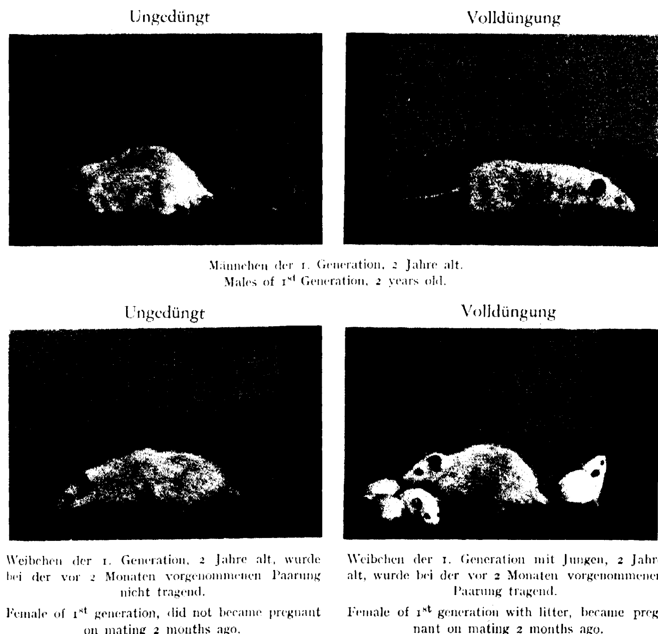
Weibchen der 1. Generation, $1^1/_4$ Jahre alt.
Females of the first generation, $1^1/_4$ years old.

Abb. 116. Fütterungsversuche an Ratten. — Nutritional experiments on rats.

geworfenen Jungen der Handelsdüngergruppe ebenfalls größer als in der U-Gruppe. Weiter aber kann man feststellen, daß die Weibchen der V-Gruppe auch meist größere Würfe als die der U-Gruppe hervorgebracht haben, wenn man die durchschnittliche Wurfgröße je Weibchen feststellt. Ohne diesen Unterschieden eine allzu große Bedeutung zumessen zu wollen, wird man doch nicht bestreiten können, daß die V-Gruppe bezüglich Trächtigkeit und Produktion von Nachkommenschaft etwas günstiger als die U-Gruppe abgeschnitten hat.

Es interessieren weiter die Wachstumstabellen Abb. 110—115, die das Wachstum der einzelnen Generationen in der Zeit der raschen Entwicklung bis zur Erreichung der Fortpflanzungsfähigkeit zeigen.

Die Männchen wachsen durchschnittlich schneller als die Weibchen und erreichen höhere Gewichte. Zwischen den Tieren der beiden



Männchen der 1. Generation, 2 Jahre alt.
Males of 1st Generation, 2 years old.

Weibchen der 1. Generation, 2 Jahre alt, wurde bei der vor 2 Monaten vorgenommenen Paarung nicht tragend.
Female of 1st generation, did not became pregnant on mating 2 months ago.

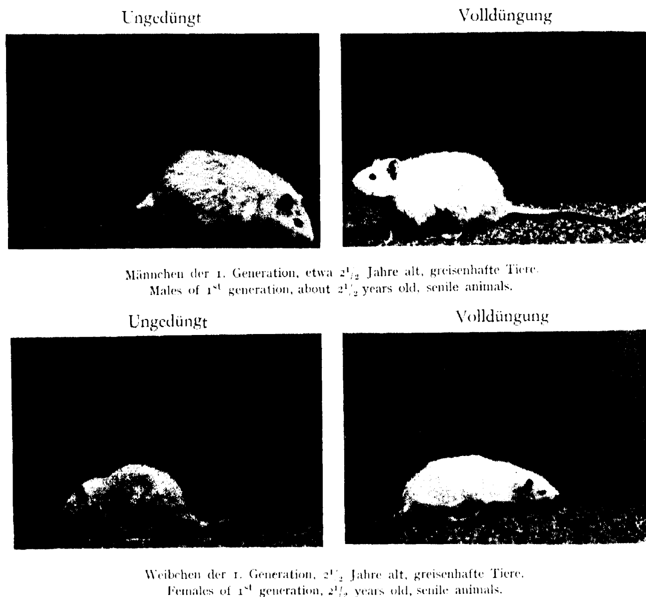
Weibchen der 1. Generation mit Jungen, 2 Jahre alt, wurde bei der vor 2 Monaten vorgenommenen Paarung tragend.
Female of 1st generation with litter, became pregnant on mating 2 months ago.

Abb. 117. Fütterungsversuche an Ratten. — Nutritional experiments on rats.

Gruppen bestehen aber entscheidende Unterschiede nicht. Die Durchschnittskurven verlaufen ganz gleichsinnig, die erreichten Endgewichte sind entweder gleich oder überragen einmal bei dieser oder bei der anderen Gruppe, also unregelmäßig.

Überhaupt konnten im äußeren Aussehen und Verhalten der Tiere Unterschiede zwischen den beiden Gruppen in keiner der Generationen

festgestellt werden. Die Tiere wurden häufig photographisch aufgenommen, um diesen Befund zu sichern und aus dem großen Bildermaterial wählten wir von jeder Generation Bilder von Männchen und Weibchen in verschiedenen Lebensaltern aus, die diese Gleichheit im Aussehen deutlich dartun (Abb. 116—123). Verwiesen sei



Männchen der 1. Generation, etwa $2^1/_2$ Jahre alt, greisenhafte Tiere.
Males of 1st generation, about $2^1/_2$ years old, senile animals.

Weibchen der 1. Generation, $2^1/_2$ Jahre alt, greisenhafte Tiere.
Females of 1st generation, $2^1/_2$ years old, senile animals.

Abb. 118. Fütterungsversuche an Ratten. — Nutritional experiments on rats.

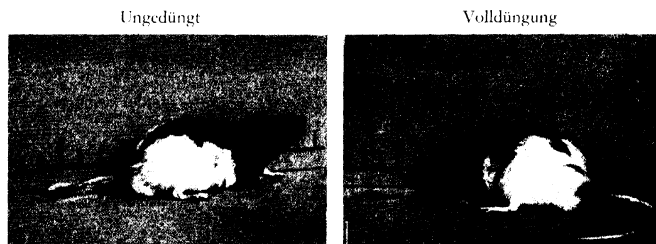
besonders auf die Abb. 116, in denen von der 1. Generation junge, auf der Höhe der Lebenskraft befindliche Tiere wiedergegeben sind, und die Abb. 118, in denen von der gleichen Generation am Ende des Versuches alte, greisenhafte Tiere dargestellt worden sind.

Um die Beobachtungen über Wachstum, Fortpflanzung und Gesundheitszustand zu ergänzen, nahmen wir nach Abschluß des Versuches

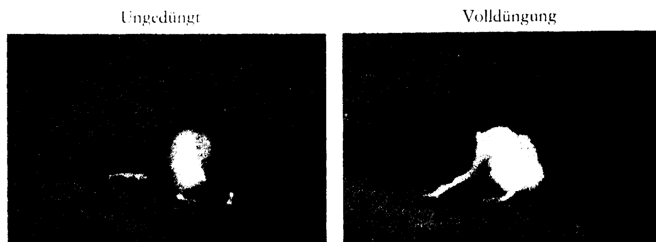
noch eine chemische Analyse von den Versuchstieren der 1. Generation ($2^1/_2$ Jahre alt) und der 6. Generation (5—6 Monate alt) vor.

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in Tabelle 5—7 wiedergegeben.

Wir verweisen für die Beurteilung besonders auf Tabelle 6, in welcher



Männchen der 2. Generation, $^3/_4$ Jahre alt.
Males of 2nd generation, 9 months old.



Weibchen der 2. Generation, $^3/_4$ Jahre alt.
Females of 2nd generation, 9 months old.

Abb. 119. Fütterungsversuche an Ratten. — Nutritional experiments on rats.

wir die analytischen Daten in Milliäquivalenten (mval) angegeben haben. Zunächst fällt der erheblich höhere Kaligehalt der jüngeren Tiere ins Auge. Für die Beurteilung der Fütterungsversuche sind jedoch andere Tatsachen besonders zu unterstreichen.

Bei den Volldüngungstieren sind sowohl die Ca- wie die PO_4-Zahlen höher, man darf daher auf eine stärkere Ausbildung des Knochengerüstes und stärkere physische Konstitution im allgemeinen bei ihnen

Tabelle 5. Aschenanalysen von Ratten.

	Angaben in Gramm auf 100 g Frischsubstanz			
	1. Generation 2 1/2 Jahre alt		6. Generation 5—6 Monate alt	
Gruppe	V	U	V	U
Ernährung	Volldüngung	Ungedüngt	Volldüngung	Ungedüngt
Gehalt an: K_2O	0,227	0,244	0,464	0,415
Na_2O	0,125	0,132	0,177	0,156
CaO	1,392	1,283	1,330	1,290
MgO	0,073	0,075	0,099	0,093
P_2O_5	1,367	1,271	1,420	1,364
Cl	0,119	0,126	0,099	0,099
SO_3	0,121	0,140	0,200	0,189
SiO_2	0,011	0,011	0,012	0,012

Tabelle 6. Aschenanalysen von Ratten.

	Angaben in Milliäquivalent (mval) auf 100 g Frischsubstanz			
	1. Generation 2 1/2 Jahre alt		6. Generation 5—6 Monate alt	
Gruppe	V	U	V	U
Ernährung	Volldüngung	Ungedüngt	Volldüngung	Ungedüngt
Gehalt an: K_2O oder K	4,82	5,18	9,85	8,81
Na_2O „ Na	4,03	4,26	5,71	5,00
CaO „ Ca	49,64	45,76	47,43	46,01
MgO „ Mg	3,62	3,72	4,91	4,61
P_2O_5 „ PO_4	57,73	53,67	59,97	57,60
Cl	3,36	3,55	2,79	2,79
SO_3 „ SO_4	3,02	3,50	5,00	4,72
SiO_2 „ SiO_3	0,37	0,37	0,41	0,42

Tabelle 7. Verhältnis von Kali, Natron, Kalk und Magnesia in Ratten.

	Angaben in Milliäquivalent			
	1. Generation 2 1/2 Jahre alt		6. Generation 5—6 Monate alt	
Gruppe	V	U	V	U
Ernährung	Volldüngung	Ungedüngt	Volldüngung	Ungedüngt
Verhältnis: Kali:Natron	1:0,836	1:0,822	1:0,580	1:0,571
Kalk:Kali	1:0,097	1:0,113	1:0,208	1:0,191
Kalk:Magnesia	1:0,073	1:0,081	1:0,104	1:0,100

schließen. Nimmt man die Knochensubstanz als im wesentlichen aus $Ca_3(PO_4)_2$ gebildet an, bleiben folgende PO_4-Milliäquivalente übrig (Tabelle 8).

Tabelle 8. Überschuß an Phosphorsäure im Körper der Ratten.

	1. Generation (2 1/2 Jahre)		6. Generation (5 Monate)	
	Volldüngung mval	Ungedüngt mval	Volldüngung mval	Ungedüngt mval
PO_4	57,73	53,67	59,97	57,60
Ca	49,64	45,76	47,43	46,01
Rest P	8,1	7,9	12,5	11,6

Der Betrag an überschießenden Millivalen Phosphor ist bei den jüngeren Tieren demnach erheblich größer, und man darf wohl annehmen, daß die restlichen Phosphormengen außer im Saft- und Blutstrom hauptsächlich im Fleischeiweiß gebunden sind und demzufolge bei den jüngeren Tieren auf stärkeren Fleischansatz schließen lassen. Darüber hinaus ist zu erkennen, daß sowohl bei den jungen wie bei den alten Tieren die Volldüngungsgruppen etwas besser abschneiden und entsprechend dem Knochenbau wahrscheinlich auch nach der Muskelseite etwas vorteilhafter ausgestattet waren.

Die übrigen Mineralstoffe sind bei der 1. Generation bei der Volldüngungsgruppe in geringerer Menge enthalten als bei der ungedüngten Gruppe. Das erklärt sich wahrscheinlich dadurch, daß die V-Ratten sich in einem viel besseren Allgemeinzustand befanden als die U-Ratten, von denen außerdem weniger Tiere vorhanden waren. Die V-Ratten waren im Durchschnitt fetter als die U-Tiere. Dadurch war der relative Mineralgehalt bei der V-Gruppe heruntergedrückt. Bei CaO und P_2O_5 kommt das nicht zum Ausdruck, vielleicht deshalb, weil die V-Gruppe einen durchweg bedeutend kräftigeren Knochenbau als die U-Gruppe gehabt hat.

Die Ergebnisse der 6. Generation erscheinen eindeutiger, da bei ihnen nach Tabelle 5 die V-Tiere durchweg mehr Mineralstoffe enthielten als die U-Tiere. Dies würde den Gesamtergebnissen des Versuches entsprechen, nach denen ja die Volldüngungstiere eine gewisse Überlegenheit zeigten. Die bessere Ernährung dieser Tiere hat sich auch im Mineralgehalt ausgewirkt. Hierzu ist zu berücksichtigen,

daß beide zur Analyse gesandten Gruppen ganz gleichmäßiges Tiermaterial umfaßten, wie sie ja auch die gleichen Gewichte zeigen.

Nachdem der Versuch am 5. Juni 1934 abgeschlossen worden war, wurden von je 60 Tieren jeder Gruppe der 6. Generation, die sich also im Alter von 5—6 Monaten befanden und eben, soweit es Weibchen

Ungedüngt



Volldüngung



Männchen der 3. Generation, kurz nach der Paarung.
Males of 3rd generation shortly after mating.

Ungedüngt



Volldüngung



Weibchen der 3. Generation, nach dem Absetzen der Jungen.
Females of the 3rd generation after weaning.

Abb. 120. Fütterungsversuche an Ratten. — Nutritional experiments on rats.

waren, ihre Jungen bis zum Absetzen großgezogen hatten, die Schilddrüsen herauspräpariert und auf ihren Jodgehalt untersucht. Die Unter-

Tabelle 9. Jodgehalt der Schilddrüsen.

V-Gruppe (Nahrung mit Handelsdünger)			U-Gruppe (Nahrung ohne Handelsdünger)		
Trockengewicht je Drüse mg	Jodgehalt je g Trockensubstanz γ	Jodgehalt je Drüse γ	Trockengewicht je Drüse mg	Jodgehalt je g Trockensubstanz γ	Jodgehalt je Drüse γ
6,35	216	1,37	7,47	146	1,09

suchung wurde von Herrn Dr. v. FELLENBERG, Bern, dem Begründer der genauesten Methoden zur Bestimmung kleiner Jodmengen, vorgenommen. Das Ergebnis ist in der Tabelle 9 zusammengefaßt:

Die Tiere der V-Gruppe hatten danach weniger Schilddrüsensubstanz, doch wiesen ihre Drüsen einen höheren Jodgehalt auf. Dies harmoniert

Ungedüngt

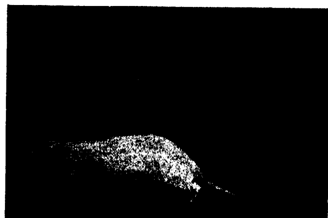


Volldüngung

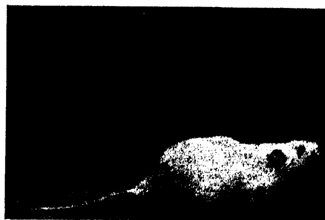


Männchen der 4. Generation, etwa 4 Monate alt, unmittelbar vor der Paarung.
Males of 4th generation, about 4 months old immediately before mating.

Ungedüngt



Volldüngung

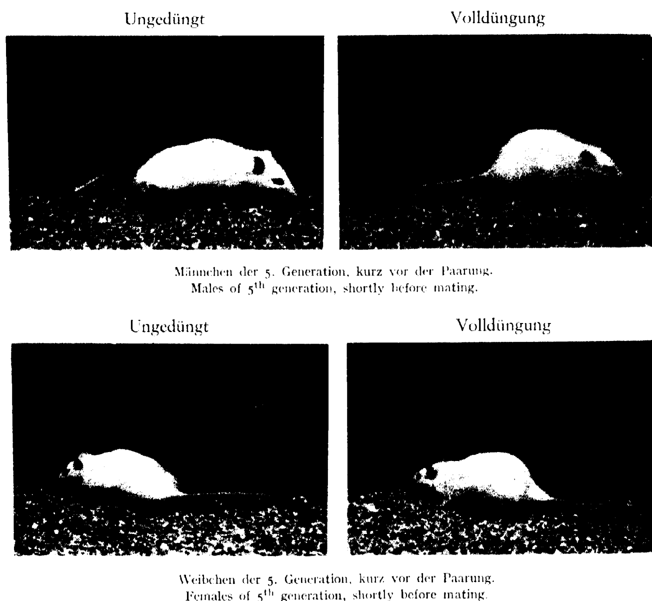


Weibchen der 4. Generation, etwa 4 Monate alt, tragend.
Females of the 4th generation pregnant.

Abb. 121. Fütterungsversuche an Ratten. — Nutritional experiments on rats.

in gewisser Weise mit jenen alten Befunden von BAUMANN u. a. an menschlichen Schilddrüsen aus den Städten Freiburg i. Br., Berlin und Hamburg und aus der Schweiz, wo bei geringerem Jodgehalt der Umwelt (Freiburg) größere Schilddrüsen mit geringerem Jodgehalt gegenüber kleineren Schilddrüsen mit höherem Jodgehalt in jodreicheren Gegenden gefunden wurden. Auf diese interessante Übereinstimmung wird von SCHEUNERT nur hingewiesen und dazu bemerkt, daß neuere Untersuchungen über die Jodverteilung in den menschlichen Schild-

drüsen diese Beziehungen wieder als fraglich erscheinen lassen. Auf jeden Fall geht aber aus den Befunden hervor, daß die mit kunstgedüngter Nahrung ernährten Ratten ausreichend Jod zur Deckung ihres Jodbedarfes erhalten haben, obwohl bei ihrer Gewinnung synthetische Stickstoffdüngemittel verwendet worden sind. Da die ebenfalls ver-



Männchen der 5. Generation, kurz vor der Paarung.
Males of 5th generation, shortly before mating.

Weibchen der 5. Generation, kurz vor der Paarung.
Females of 5th generation, shortly before mating.

Abb. 122. Fütterungsversuche an Ratten. — Nutritional experiments on rats.

wendeten Kalisalze und Phosphorsäuredünger jodhaltig sind, so haben auch bei der künstlichen Düngung den Pflanzen offenbar ausreichende Jodmengen zur Verfügung gestanden. Ein klares Bild darüber, wie bei dem Leipziger Versuch die Verhältnisse tatsächlich lagen, ist nicht zu gewinnen, weil die einzelnen Nahrungsmittel nicht auf ihren Jodgehalt untersucht worden sind.

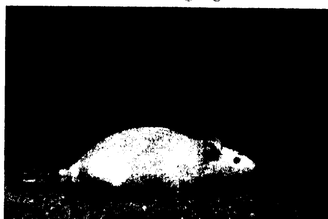
Von großem Interesse ist schließlich die Frage, wie sich die Aufzucht

der Jungen in den beiden Gruppen gestaltet. Es ist gerade hier schwierig, zu klaren Resultaten zu kommen. Das in der Natur allgemein zutage tretende Prinzip bei durch ihre Umweltsbedingungen stark gefährdeten Lebewesen, das Fortbestehen der Art dadurch zu sichern, daß sehr große Mengen von Nachkommen erzeugt werden, von denen aber nur ein

Ungedüngt



Volldüngung



Männchen der 6. Generation, ca. 4 Monate alt, nach der Paarung.
Males of 6th generation, ca. 4 months old, after mating.

Ungedüngt



Volldüngung



Weibchen der 6. Generation mit Jungen.
Females of 6th generation with litter.

Abb. 123. Fütterungsversuche an Ratten. — Nutritional experiments on rats.

Teil aufgezogen wird, ist auch bei der Ratte zu finden. Manche Ratten ziehen allerdings ihre Würfe vollzählig auf, bei anderen aber treten mehr oder weniger starke Verluste ein. Schwächere Tiere mögen dabei von den stärkeren beim Säugen abgedrängt werden, aber oft gehen auch starke Tiere ein, sei es, daß sie erdrückt werden, sei es, daß sie beim Einwühlen des Wurfes in die Bettung, eine von den Ratten beliebte Methode, ersticken oder erdrückt werden. Wenn die jungen Tiere

10—14 Tage alt sind, reguliert häufig die Mutter selbst die Zahl, indem sie eine Anzahl der Jungen tötet oder auch frißt. Nach amerikanischen Arbeiten und früheren Versuchen von SCHEUNERT spielt hierbei der Eiweißgehalt der Kost eine Rolle. Eiweißreiche Ernährung setzt die Verluste durch Tötung herab. Aber gerade im vorliegenden Versuch wurde die Erfahrung gemacht, daß durch eiweißreiche Kost der Zerstörung nicht völlig gesteuert werden kann. Es spielt also ein individueller Faktor mit, den zu beherrschen man wenigstens vorläufig nicht in der Hand hat. Er kann nach einer weit verbreiteten Ansicht der Tierzüchter auch vererblich sein und soll auch von zufälligen äußeren Umständen: Erschrecken der Tiere, Unruhe im Zuchtraum und dergleichen abhängen. Am sichersten kommt man zu einem Überblick, wenn man die Anzahl der Jungen ermittelt, die im Durchschnitt von einer der tragend gewesenen Mütter aufgezogen worden sind. Als Ende der Aufzucht ist der Zeitpunkt angenommen, zu dem die jungen Tiere unabhängig von der Mutter weiterzuleben vermögen, also das Ende der Säugezeit.

In der Tabelle 10 ist diese Berechnung für sämtliche Paarungsversuche und Generationen zusammengestellt worden.

Tabelle 10. Aufzuchtergebnisse sämtlicher Paarungen.

Tag der Paarung	Generation	Zahl der trächtigen Mütter		Zahl der aufgezogenen Jungen		Durchschnittlich je Mutter aufgezogen	
		V	U	V	U	V	U
3. 5. 32	I	6	5	40	31	6,67	6,2
13. 7. 32	I	12	11	75	62	6,25	5,64
28. 11. 32	I	5	6	27	32	5,4	5,33
30. 6. 33	I	6	5	30	23	5,0	4,6
18. 10. 33	I	5	1	14	4	2,8	4 (?)[1]
26. 9. 32	II	15	16	86	120	5,73	7,5
15. 12. 32	II	10	5	41	22	4,1	4,4
11. 4. 33	II	14	14	99	95	7,07	6,79
11. 2. 33	III	20	19	99	109	5,0	5,74
8. 7. 33	IV	20	20	150	170	7,5	8,5
30. 11. 33	V	30	26	217	183	7,23	7,04
9. 4. 34	VI	50	49	259	224	5,18	4,57

[1]) Der Wert dieser Zahl als Durchschnittszahl ist fraglich, da nur 1 Tier trächtig geworden war und seine 4 Jungen vollständig aufgezogen hatte.

Man sieht hier, daß zwischen den beiden Gruppen regelmäßige Unterschiede nicht bestehen. In einigen Fällen sind die Aufzuchtergebnisse bei der U-Gruppe deutlich besser, in einigen anderen war die V-Gruppe überlegen, meist sind die Unterschiede so gering, daß man die Ergebnisse als praktisch gleich bezeichnen kann.

Addiert man die von beiden Gruppen insgesamt bis zum Absetzen von der Mutter gesäugten Jungen, so ergeben sich für die

V-Gruppe 1137 abgesetzte Junge,
für die U-Gruppe 1075 „ „

oder, korrigiert, d. h. vermindert um die Ergebnisse der letzten Paarung der 1. Generation, die erst in hohem Alter erfolgte, also vielleicht nicht mehr maßgebend ist:

V-Gruppe: 1123 abgesetzte Junge,
U-Gruppe: 1071 „ „

Das bedeutet wohl praktische Gleichheit.

Als Gesamtergebnis zeigen die Versuche, daß die mit unter Verwendung von Handelsdünger gezogener Nahrung ernährten Ratten bezüglich Fruchtbarkeit, Zahl der Nachkommenschaft und Langlebigkeit den anderen überlegen waren, während Wachstum und Aufzuchtleistung sich in denselben Grenzen hielten, wie sie auch bei Ratten beobachtet wurden, die mit Nahrungsmitteln ohne Handelsdüngerverwendung ernährt worden waren.

Für die Grundfrage, ob irgendwelche Schädigungen der Tiere durch langdauernde Verfütterung von mit Handelsdünger gezogener Nahrung eintreten würden, lautet nach diesen Ergebnissen die klare und eindeutige Antwort, daß dies nicht der Fall ist. Im Gegenteil weisen die Versuchsergebnisse eher darauf hin, daß durch solche Nahrung eine günstige Beeinflussung der Vitalität erfolgt ist.

Literatur.

1. A. SCHEUNERT, M. SACHSSE, R. SPECHT. Biochem. Z. Bd. 274, H. 5/6 (1934).

Zusammenfassung.

Um die Frage zu prüfen, ob Veränderungen in der Zusammensetzung der Nahrungsmittel, die chemisch gar nicht erfaßbar sind, bei fortgesetztem Genusse einer mit Handelsdünger erzeugten Nahrung

eine Wirkung äußern könnten, beteiligten wir uns an einem von SCHEUNERT durch 6 Generationen durchgeführten Fütterungsversuche an Ratten.

Für diesen Versuch wurden 2 Fütterungsgruppen von je 9 Weibchen und 6 Männchen gebildet, die einschließlich ihrer Nachkommenschaft (6 Generationen) $2^1/_2$ Jahre lang verschieden gefüttert wurden.

Die Versuchsnahrung mußte der menschlichen Kost entsprechen. Deshalb wurden gemischte Kostsätze, die aus Getreide, Gemüse, Milch und Fleisch zusammengesetzt waren, verwendet. Beide Gruppen erhielten die gleiche Kost, aber die eine Gruppe erhielt nur Nahrungsmittel, die reichlich mit Handelsdünger gezogen waren, die andere solche Nahrungsmittel, die von ungedüngten oder nur mit natürlichem Dünger versehenen Böden stammten.

Im Wachstum der 1. Generation, wie auch in der Fruchtbarkeit traten entscheidende Unterschiede bis zum Alter von $1^3/_4$ Jahren nicht auf. Bei der 5. Paarung, die zu dieser Zeit vorgenommen wurde, zeigte sich aber die Handelsdüngergruppe deutlich überlegen. Auch in bezug auf Langlebigkeit war die Handelsdüngergruppe im Vorteil. Wie der Untersuchungsbefund der Tiere ergab, zeigte die Handelsdüngergruppe eine größere Widerstandsfähigkeit gegen Krankheiten. Bei der Fortführung des Versuches durch 6 Generationen ergab sich, daß die Handelsdüngergruppe bezüglich Trächtigkeit und Produktion von Nachkommenschaft etwas günstiger als die Ungedüngt-Gruppe abgeschnitten hat. In den Wachstumskurven bestanden entscheidende Unterschiede zwischen den Tieren der beiden Gruppen nicht. Bei der chemischen Analyse der Rattenkadaver ergab sich ein Hinweis, daß die Volldüngungstiere in bezug auf Knochenausbildung wie auch Muskelausbildung etwas besser abschnitten als die ungedüngten Tiere. Das Aufzuchtergebnis sämtlicher Paarungen zeigte, daß bei der Volldüngungsgruppe insgesamt 1123 Junge bis zum Absetzen von der Mutter gebracht worden waren, bei der Ungedüngt-Gruppe 1071, was man als praktische Gleichheit beider Gruppen ansprechen kann.

Als Gesamtergebnis zeigen die Versuche, daß die mit unter Verwendung von Handelsdünger gezogener Nahrung ernährten Ratten bezüglich Fruchtbarkeit, Zahl der Nachkommenschaft und Langlebigkeit den anderen überlegen waren, während Wachstum und Aufzucht-

leistung sich in denselben Grenzen hielten, wie sie auch bei Ratten beobachtet wurden, die mit Nahrungsmitteln ohne Handelsdüngerverwendung ernährt worden waren.

Für die Grundfrage, ob irgendwelche Schädigungen der Tiere durch langdauernde Verfütterung von mit Handelsdünger gezogener Nahrung eintreten würden, lautet nach diesen Ergebnissen die klare und eindeutige Antwort, daß dies nicht der Fall ist. Im Gegenteil weisen die Versuchsergebnisse eher darauf hin, daß durch solche Nahrung eine günstige Beeinflussung der Vitalität erfolgt ist.

SUMMARY.

In order to ascertain whether the use of artificial fertilisers can produce changes in the composition of food stuffs which, although not detectable by chemical methods, may influence the health of those consuming them we co-operated with SCHEUNERT in carrying out nutritional experiments on rats over a period embracing six generations.

The animals were divided into two groups of nine females and six males each and were, together with their progeny, fed on different rations over a period of two and a half years. The experimental ration was designed to correspond in composition to ordinary human food and was composed of cereals, vegetables, milk and meat. Both groups of animals received the same diet, the only difference being that in the case of one group the food stuffs had been grown with the help of commercial fertilisers, whereas in the case of the other group the food was grown on soils which had either received no manuring or had been treated with manure only.

No differences were observed in the growth or fertility of the first generation up to the age of $1^3/_4$ years. The results of the fifth mating, which took place about this time, showed, however, certain differences in favour of the commercial fertiliser group. The latter animals were also somewhat longer lived and better capable of resisting disease than the "no fertiliser" animals. On continuing the experiments through six generations it was found that in respect to fertility and the number of young produced per litter the commercial fertiliser group was somewhat superior to the "no fertiliser" group. The growth curves for both

groups were, however, about the same. Chemical analyses of the carcasses showed that the "commercial fertiliser" group was superior to the "no fertiliser" group in respect to bone and muscle formation. The total number of young which survived weaning was about the same in each case viz. 1123 in the "commercial fertiliser" group and 1071 in the "no fertiliser" group.

The final results of these experiments show that the animals fed on food grown with commercial fertilisers were superior as regards longevity, fertility and the average number of young per litter to those fed on fodder grown without fertilisers. No significant differences were observed in respect to growth or to the total number of young produced.

To the fundamental question as to whether the health of the animals was impaired in any way by the continued consumption of food grown with commercial fertilisers, the answer given by the above results is clearly in the negative. On the contrary there are indications that such fodder had a definitely beneficial effect on the vitality of the animals fed on it.

IV. Verzeichnis der aus der Versuchsstation Berlin-Lichterfelde hervorgegangenen Arbeiten.

1929—1935.

1. ECKSTEIN, O. u. A. JACOB, Der Kali-Eisen-Antagonismus in der Pflanze als Grundlage einer Methode zur Feststellung des Kalibedürfnisses der Böden. Zeitschr. f. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde, Teil A, Bd. 14 (1929).
2. JACOB, A., Die Neubauer-Analyse als Grundlage für die Aufstellung von Düngungsplänen. Ernährung d. Pflanze Bd. 25, H. 12 u. 14, S. 277 u. 338 (1929).
3. JACOB, A., Der Einfluß der Kalidüngung auf das Hektolitergewicht von Getreide. Zeitschr. f. Pflanzenernährung, Düngung u. Bodenkunde, Teil B, Nr. 2, S. 61 (1929).
4. ECKSTEIN, O., Kalisalze und Volksgesundheit. Deutsche Ärzte-Zeitung Nr. 196 (1930).
5. ECKSTEIN, O., Die Düngewirkung der Anionen und der Nebenbestandteile der Kalisalze. Ergebnisse der Agrikulturchemie Bd. 2 (1930).
6. ECKSTEIN, O. u. A. JACOB, Die diagnostischen Methoden zur Beurteilung des Kalizustandes der Ackerböden. Proceedings and Papers of the Second International Congress of Soil Science Moscow 1930.
7. JACOB, A., Der Einfluß der Düngung auf die Qualität der Ernte. Ernährung d. Pflanze Bd. 26, H. 13, S. 302 (1930).
8. JACOB, A., Die Graufleckigkeit der Kartoffeln. Ernährung d. Pflanze Bd. 26, H. 3, S. 64 (1930).
9. JACOB, A., Kalisalpeter als Düngemittel. Fortschritte d. Landwirtschaft Nr. 11, S. 381 (1930).
10. JACOB, A., Fortschritte der Agrikulturchemie seit 1918. Zeitschr. f. angew. Chem. Nr. 1 (1931).
11. VAGELER-ALTEN, Böden des Nil und Gash I—VIII. Zeitschr. f. Pflanzenernährung, Düngung u. Bodenkunde, Teil A, Bd. 21, 22, 23, 24 (1931/32).
12. JACOB, A., Der Basenhaushalt des Ackerbodens unter besonderer Berücksichtigung der Auswaschung. Journ. f. Landwirtschaft Nr. 4, S. 232 (1932).
13. JACOB, A., Die Anwendung der Neubauer-Methode zur Untersuchung tropischer Böden. Zeitschr. f. angew. Chem. Nr. 25, S. 427 (1933).
14. ALTEN, WEILAND u. LOOFMANN, Kolorimetrische Aluminiumbestimmung. Zeitschr. f. angew. Chem. Nr. 46 (1933).
15. VAGELER-ALTEN, Untersuchungen über den landwirtschaftlichen Wert der wichtigsten Bodenarten Hollands. Zeitschr. f. Pflanzenernährung, Düngung u. Bodenkunde, Teil A, Bd. 29, H. 1/2 (1933).
16. VAGELER-ALTEN, Die Bodenuntersuchung und Bodenbeurteilung nach physikalisch-chemischen Gesichtspunkten. Ernährung d. Pflanze Bd. 29, H. 7, S. 121 (1933).
17. ALTEN, WEILAND u. KNIPPENBERG, Kolorimetrische Calciumbestimmung über das Pikrolonat. Biochem. Zeitschr. Bd. 265, (1933).
18. ALTEN, WEILAND u. HILLE, Kolorimetrische Eisenbestimmungen mit Sulfosalizylsäure. Zeitschr. f. anorg. u. allg. Chem. Bd. 215, H. 1 (1933).

19. ALTEN, WEILAND u. KURMIES, Vergleichende Untersuchungen zur kolorimetrischen Kaliumbestimmung. Zeitschr. f. Pflanzenernährung, Düngung u. Bodenkunde, Teil A, Bd. 32, H. 3/4 (1933).
20. ALTEN-WEILAND, Untersuchungen über die kolorimetrische Manganbestimmung mit Persulfat. Zeitschr. f. Pflanzenernährung, Düngung u. Bodenkunde, Teil A, Bd. 30, H. 4/6 (1933).
21. ALTEN, WEILAND u. HILLE, Die Natriumbestimmung als Tri-Uranylmagnesium-Natriumazetat. Zeitschr. f. Pflanzenernährung, Düngung u. Bodenkunde, Teil A, Bd. 32, H. 3/4 (1933).
22. ALTEN-WEILAND, Ein Beitrag zur kolorimetrischen Bestimmung des Natriums. Zeitschr. f. Pflanzenernährung, Düngung u. Bodenkunde, Teil A, Bd. 31, H. 4/6 (1933).
23. ALTEN-WEILAND, Vergleichende Untersuchungen über die kolorimetrischen Methoden der Nitratbestimmung. Zeitschr. f. Pflanzenernährung, Düngung u. Bodenkunde, Teil A, Bd. 32, H. 5/6 (1933).
24. ALTEN-WEILAND, Die Natriumbestimmung in Kalisalzen und Kalirohsalzen nach der Uramylacetatmethode. Mitteilung d. Kaliforschungs-Anstalt, September 1933.
25. ALTEN, WEILAND u. LOOFMANN, Vergleichende Untersuchungen über die kolorimetrische und nephelometrische Bestimmung der Phosphorsäure. Zeitschr. f. Pflanzenernährung, Düngung u. Bodenkunde, Teil A, Bd. 32, H. 1/2 (1933).
26. ALTEN-GOTTWICK, Ein Beitrag zur Frage der Vertretbarkeit des Kaliums durch Rubidium und Caesium für die Pflanzenernährung. Ernährung d. Pflanze Bd. 29, H. 21, S. 393 (1933).
27. ALTEN-KNIPPENBERG, Ein Beitrag zur Vorbehandlung der Böden für die Schlämmanalyse nach der Pipettmethode. Zeitschr. f. Pflanzenernährung, Düngung u. Bodenkunde, Teil A, Bd. 31, H. 4/6 (1933).
28. ALTEN-WEILAND, Die quantitative Bestimmung von Nitrat-, Harnstoff- und Ammoniakstickstoff in Mischdüngern. Zeitschr. f. angew. Chem. Nr. 46 (1933).
29. ALTEN, Die Bestimmung von Wasserhaushalt, Nährstoffzustand und Düngungsbedürfnis der Mineralböden nach den Methoden der Versuchsstation Lichterfelde. Landwirtschaftl. Versuchsstation Bd. 115, H. 3/6 (1933).
30. ECKSTEIN, O., Die Änderung der mineralischen Zusammensetzung von Wiesen- und Weidepflanzen unter dem Einfluß verschiedener Düngung. Vortrag a. d. III. Grünlandkongreß der nord- u. mitteleuropäischen Länder, Zürich 1934.
31. JACOB, A., Die Bestimmung des Nährstoffgehaltes von Böden durch Elektrodialyse. Ernährung d. Pflanze Bd. 30, H. 6, S. 106 (1934).
32. JACOB, A., Ist nach dem trockenen Sommer 1934 mit unausgenutzten Düngerresten in der Ackerkrume zu rechnen? Landwirtschaftl. Presse Nr. 52, 1934.
33. ALTEN, WEILAND u. HILLE, Die colorimetrische Ammoniakbestimmung in kleinen Substanzmengen. Zeitschr. f. Pflanzenernährung, Düngung u. Bodenkunde, Teil A, Bd. 33, H. 3/4 (1934).
34. TRÉNEL-ALTEN, Die physiologische Bedeutung der mineralischen Bodenazidität. Zeitschrift f. angew. Chem. Nr. 47 (1934).
35. ALTEN-GOTTWICK, Beziehungen zwischen Transpiration und Diffusion bei der K-Aufnahme in Nährlösungen durch Keimpflanzen. Ernährung d. Pflanze Bd. 30, H. 24, S. 415 (1934).
36. JACOB, A., Der Einfluß der Kalidüngung auf die chemische Zusammensetzung der Ernteprodukte. Zeitschr. f. Pflanzenernährung, Düngung u. Bodenkunde, Teil A, Bd. 37, H. 1/2 (1935).

37. JACOB, A., Untersuchungen über den Einfluß der Düngung auf Qualität und Bekömmlichkeit der Nahrungs- und Futtermittel. Zeitschr. f. angew. Chem. Bd. 48 (1935).
38. JACOB, A., Die Bedeutung der mineralischen Zusammensetzung des Futters für die Tierernährung. Biedermanns Zentralblatt, Abt. B Tierernährung Nr. 7 (1935).
39. ALTEN, WANDROWSKY u. HILLE, Colorimetrische Aluminiumbestimmung mit Eriochromcyanin. Zeitschr. f. angew. Chem. Bd. 48 (1935).
40. ALTEN-HILLE, Die colorimetrische Ammoniakbestimmung in kleinen Substanzmengen. Zeitschr. f. angew. Chem. Bd. 48 (1935).
41. ALTEN-KURMIES, Physikalisch-chemische Fragen bei der Bodenbearbeitung und Düngung. Zeitschr. f. angew. Chem. Bd. 48 (1935).
42. ALTEN-GOEZE, Untersuchungen über die Veränderungen der anatomischen Struktur des Halmes und ihre Beeinflussung durch Kalidüngung bei Hafer und Gerste. Ernährung d. Pflanze Bd. 31, H. 10, S. 181 (1935).
43. SCHOENEFELDT-ALTEN, Die Bedeutung von Technik und Bodenkunde für die deutsche Wasserwirtschaft. Zeitschr. f. angew. Chem. Bd. 48 (1935).
44. ALTEN, Die Düngung des Bodens bei trockenem Klima. Zeitschr. f. Pflanzenernährung, Düngung u. Bodenkunde, Teil A, Bd. 38, H. 1/3 (1935).
45. ECKSTEIN, O., Vermag die Pflanze die Isotopen des Bodenkaliums zu trennen? Transactions of the 3rd International Congress of Soil Science, Oxford 1935.
46. JACOB, HOFMANN u. LOOFMANN, Identifikation der Sorptionssubstanz im Boden durch Röntgenuntersuchungen. Transactions of the 3rd International Congress of Soil Science, Oxford 1935.
47. ALTEN-KURMIES, Die physikalisch-chemischen Gesetzmäßigkeiten beim Kationenumtausch im Mineralboden. Transactions of the 3rd International Congress of Soil Science, Oxford 1935.

Sachregister.

INDEX OF SUBJECTS.